PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 17. 1. September 1908. 9. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 18 am 31. August 1908.

INHALT.

Originalmitteilungen:

J. Zenneck, Über die Wirkungsweise der Sender für gerichtete drahtlose Telegraphie. S. 553.

R. Rüdenberg, Eine Methode zur Erzeugung von Wechselströmen beliebiger Periodenzahl. S. 556.

R. Holm, Experimentelle Untersuchungen über die geschichtete positive Glimmlichtsäule. S. 558.

H. A. Lorentz, Zur Strahlungstheorie. S. 562.

J. v. Geitler, Ein einfacher Polarisationsversuch. S. 563.

H. Erfle, Zur Brechung und Absorption des Lichtes in absorbierenden Medien. S. 563.

J. Tuma, Eine Methode zur Messung des Momentanwertes einer Rotationsgeschwindigkeit. S. 565.

Chr. Ries, Einfluß der Feuchtigkeit auf die elektrischen Eigenschaften des Selens. S. 569.

Besprechungen:

G. Tammann, Über die Beziehungen zwischen den inneren Kräften und Eigenschaften der Lösungen. S. 582.

J. Chappuis und A. Berget, Vorlesungen über allgemeine Physik. I. S. 582.

R. Börnstein, Die Lehre von der Wärme. S. 583.

H. Thurn, Die Funkentelegraphie. S. 583.

J. Scheiner, Populäre Astrophysik. S. 583.

J. J. Weyrauch, Grundriß der Wärmtheorie. S. 584.

Tagesereignisse. S. 584.

Personalien. S. 584.

Gesuche. S. 584.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Über die Wirkungsweise der Sender für gerichtete drahtlose Telegraphie.

Von J. Zenneck.

I.

Die Wirkung der Sender für gerichtete drahtlose Telegraphie findet keine Erklärung, solange man die Erde als sehr gut leitend betrachtet.

Nehmen wir als Beispiel den Marconischen Sender (Fig. 1). Wenn man die Erde als extrem gut leitend voraussetzt, so ist man bekanntlich berechtigt den Sender von Fig. 1 und die

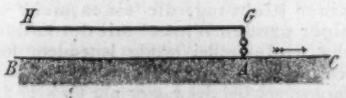


Fig. 1.

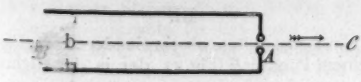


Fig. 2.

Wirkung des Bodens zu ersetzen durch den Sender von Fig. 2 ohne Boden und das elektrische Feld dieses Senders zu berechnen aus der Senkung der einzelnen Stromelemente.[1]) Bei ebener Erdoberfläche würde es dann für die Wirkung auf einen Empfänger ankommen auf das Feld in der Äquatorebene und damit auf die Energiestrahlung in der Richtung der Äquatorebene, d. h. in der Richtung der Erdoberfläche.

Für das Feld in der Äquatorebene heben sich aber die Beiträge der beiden horizontalen Teile der Antenne um so mehr auf, je größer die Entfernung des Empfängers vom Sender ist. Für sehr große Entfernungen, um die es sich bei der drahtlosen Telegraphie immer handelt, bleibt praktisch nur übrig die Wirkung des vertikalen Teils und diese ist aus Symmetriegründen für alle Richtungen dieselbe. Der Sender könnte nicht für gerichtete Telegraphie gebraucht werden.[2])

Da tatsächlich der Sender von Fig. 1 nach den Versuchen von Marconi auch auf sehr große Entfernungen als gerichteter Sender wirkt, so muß bei seiner Wirkung das geringe Leitvermögen der Erde eine wesentliche Rolle spielen.[3])

II.

Es soll deshalb vorerst untersucht werden, welchen Einfluß ein schlechtes Leitvermögen der Erde haben würde, wenn die Erdoberfläche eben wäre. Das Leitvermögen soll aber immerhin als so groß vorausgesetzt werden, daß die Wellen die Erdoberfläche als Führung benützen.

Dann gelten jedenfalls annähernd die Beziehungen, die ich früher abgeleitet habe.[4])

1) Vgl. z. B. M. Abraham, Theorie der Elektrizität, II, S. 286. Leipzig 1905.

2) Daß der Versuch von J. A. Fleming (Electrician **57**, 455 f., 1906), die Wirkung des Marconi-Senders unter Beibehaltung der Annahme eines extrem guten Leitvermögens der Erde zu erklären, als verfehlt zu betrachten ist, haben K. Uller (diese Ztschr. **8**, 193, 1907) u. L. Mandelstam (Jahrbuch für drahtl. Telegr. **1**, 291 u. 333, 1908) nachgewiesen.

3) Herr K. Uller (diese Ztschr. **8**, 193, 1907) hat eine Erklärung der Wirkung des Marconi-Senders gegeben, die ebenfalls das beschränkte Leitvermögen der Erde zur Voraussetzung hat. Das wesentliche dieser Erklärung ist die stärkere Absorption der Wellen durch den Erdboden auf der konkaven Seite des Senders. Daß eine solche tatsächlich eintritt, ist nach den Ausführungen des Herrn Uller sehr wahrscheinlich. Dieser Grund kommt also zu den im folgenden erwähnten und besonders betonten noch hinzu.

4) J. Zenneck, Ann. d. Phys. **23**, 846, 1907; vgl. auch K. Uller, Diss. Rostock 1904.

Aus denselben ergibt sich, daß die Richtung des elektrischen Felds an der Erdoberfläche nicht mehr senkrecht zu derselben ist. Der Winkel, den das elektrische Feld mit der Erdoberfläche bildet, kann während einer Periode variieren. Den folgenden qualitativen Betrachtungen soll ein gewisser Mittelwert α dieses Winkels zugrunde gelegt werden, so daß also das elektrische Feld E an der Erdoberfläche die Gestalt von Fig. 3

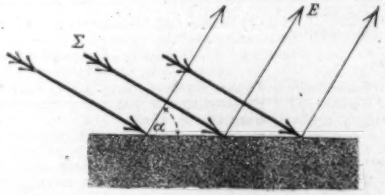


Fig. 3.

haben würde. Dem entspricht als Richtung der „mittleren Energiestrahlung“[5]) die in Fig. 3 mit Σ bezeichnete; andererseits muß alle Energie in letzter Linie vom Sender kommen. Es werden demnach die Kurven der mittlern Strahlung zwischen Sender und Empfänger von der Art sein, wie die in Fig. 4 gestrichelten. Das würde aber heißen: für die Wirkung des Senders A auf den Empfänger E kommt es nicht an auf die Strahlung des Senders in der Richtung der Erdoberfläche, sondern auf die Strahlung in einer Richtung AX (Fig. 4), die

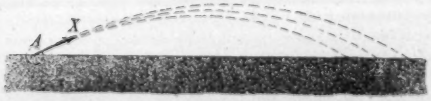


Fig. 4.

einen erheblichen Winkel mit der Erdoberfläche bilden kann („wirksame Strahlungsrichtung“).

Auch die Erdkrümmung wird voraussichtlich daran nichts Wesentliches ändern. Die Strahlungskurven werden wohl ungefähr die

5) K. Uller, Diss. Rostock 1904. Jahrbuch für drahtl. Telegr. 1, 570. 1908.

Fig. 5.

Form Fig. 5 annehmen. Der einzige Unterschied könnte der sein, daß die Richtung AX, die jetzt für die Wirkung auf den Empfänger E maßgebend ist, einen noch größeren Winkel mit der Erdoberfläche bildet.

Wesentlich ist aber folgendes. Die wirksame Strahlungsrichtung des Senders für einen bestimmten Empfänger muß unter sonst gleichen Umständen augenscheinlich um so mehr von der horizontalen abweichen, je schiefer die Strahlungsrichtung an der Stelle des Empfängers (Σ Fig. 3) und je größer der Abstand von Sender und Empfänger ist. Für einen Empfänger, der über Seewasser steht, ist die Strahlungsrichtung (Σ Fig. 3) nur sehr wenig gegen die Horizontale geneigt.[6]) Befindet sich also zwischen Sender und Empfänger Seewasser und ist der Empfänger an Bord eines Schiffes angebracht, so weicht die wirksame Strahlungsrichtung (AX) des Senders nur dann erheblich von der horizontalen ab, wenn die Entfernung zwischen Sender und Empfänger sehr groß ist (Fig. 6).

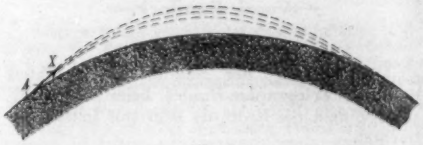


Fig. 6.

Das Resultat ist also: Für die Wirkung eines Senders A auf einen Empfänger E kommt es an auf die Strahlung des Senders in einer Richtung, die einen mehr oder weniger großen Winkel mit der Erdoberfläche bildet. Bei mäßig leitendem festem Boden gilt dies für alle einigermaßen beträchtliche Entfernungen, bei Seewasser nur für sehr große Entfernungen.

III.

Um festzustellen, ob ein Sender AGH (Fig. 7) in einem Punkte E (Fig. 5), der in der Richtung

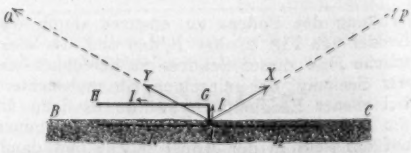


Fig. 7.

AC sehr weit entfernt von A liegt, ein stärkeres elektrisches Feld liefert als in einem ebensoweit entfernten Punkt in der entgegengesetzten

6) Vgl. Fußnote 4.

Richtung AB, hat man zu untersuchen, wie die mittlere Strahlung in der wirksamen Richtung AX sich verhält zu derjenigen in der wirksamen Richtung AY.

Man betrachte zu diesem Zweck einen Punkt P in der Richtung AX (bzw. Q in der Richtung AY), dessen Entfernung einerseits so groß ist, daß das elektrische Feld schon ungefähr die Form hat wie in sehr großer Entfernung, andererseits so klein, daß das elektrische Feld in demselben jedenfalls noch zum größten Teil bestimmt ist durch die Ströme im Sender und in unmittelbarer Umgebung desselben. Dem Quadrat der elektrischen Feldstärke in dem Punkte P (bzw. Q) ist dann die Strahlung in der Richtung AX (bzw. AY) proportional.

Die Ströme, welche für das Feld in P (bzw. Q) in Betracht kommen, sind der Strom I in der Antenne AGH selbst und die Ströme, welche vom Fußpunkt der Antenne in den Erdboden gehen.

Wendet man die Beziehungen für das elektrische Feld von Wechselstromelementen[7]) auf den Strom in der Antenne selbst an, so überzeugt man sich, daß das Feld, das vom vertikalen Teil AG der Antenne herrührt, im Punkte P durch das Feld, das vom Strom im horizontalen Teil GH der Antenne hervorgerufen wird, verstärkt wird.[8])

Im Gegensatz dazu wird im Punkte Q das Feld des vertikalen Teils der Antenne durch dasjenige des horizontalen Teils geschwächt. Soweit also das Feld herrührt von dem Strom in der Antenne selbst, muß die Amplitude desselben größer sein im Punkte P als im Punkte Q.

An diesem Resultate ändern auch die Erdströme von A aus nichts Wesentliches. Für das Feld im Punkte P (bzw. Q) kommt nur in Betracht die Komponente dieser Erdströme längs der Ebene AGH. Man kann sich die Erdströme durch 2 lineare Ströme I_1 und I_2 (Fig. 7) ersetzt denken. Sowohl für das Feld in P als für dasjenige in Q wirkt I_2 in derselben Richtung wie der Strom im horizontalen Teil der Antenne, der Strom I_1 in entgegengesetzter Richtung. Wie man sich leicht überzeugt, ist die Amplitude von I_1 im allgemeinen größer als diejenige von I_2. Es besteht also die Wirkung der Erdströme im wesentlichen darin, das Feld des horizontalen Teils der Antenne etwas abzuschwächen.

Es bleibt aber das Resultat bestehen: Die Amplitude des elektrischen Felds im Punkte P muß größer sein als diejenige im Punkte Q. Daraus folgt: Die mittlere Strahlung in der Richtung AX ist größer als diejenige in der Richtung AY. Daraus und aus II muß geschlossen werden: für Punkte der Erdoberfläche in der Richtung AC ist das elektrische Feld stärker als für die entsprechenden Punkte in der Richtung AB; der Sender muß als gerichteter Sender wirken.

7) Vgl. Fußnote 1.

8) Von P aus gesehen haben die Ströme im horizontalen und vertikalen Teil der Antenne dieselbe Richtung, von Q aus gesehen entgegengesetzte Richtung.

IV.

Aus dem Gesagten ergeben sich folgende Konsequenzen. Aus III. folgt, daß der Unterschied zwischen der Wirkung in der Richtung AC und derjenigen in der Richtung AB um so größer werden muß, je stärker der Strom I_2 im Verhältnis zu I_1 (Fig. 7) ist.

1. Der Strom I_2 kann auf schlecht leitendem Boden dadurch verstärkt werden, daß man an den Fußpunkt der Antenne ein längliches Drahtnetz anschließt und dieses in der Richtung AC oberhalb oder in der Erde ausspannt.

Das scheint in der Tat nach den bisherigen Erfahrungen sehr günstig zu wirken.[9])

2. Im Falle eines sehr gut leitenden Bodens fällt der Strom I_2 fast ganz weg (vgl. a). Der Strom I_1, das Spiegelbild des Stromes I in der Antenne, muß dann die Wirkung des horizontalen Teils der Antenne fast ganz aufheben. Ein Sender von der Form Fig. 1 kann also keine oder nur eine sehr schwache Richtbarkeit der Wellen ergeben, wenn er sich über Seewasser befindet. Auch das scheint durch die Erfahrung bestätigt zu werden.[10])

Die angegebene Auffassung erklärt auch ohne weiteres die Wirkung aller übrigen Sender, die für gerichtete Telegraphie benutzt wurden, besonders auch der schiefen Antennen von F. Braun und von Sigsfeld[11]) und derjenigen von E. Bellini und A. Tosi.[12]) Sie würde auch die Beobachtung Marconis[13]) verständlich machen, daß beim Telegraphieren über See der Einfluß von Tag und Nacht nur bei verhältnismäßig großen Entfernungen (von ca. 250 km an) sich bemerkbar machte: nur bei großen Entfernungen passiert (nach III) der Teil der Welle, welcher zum Empfänger gelangt, die oberen Atmosphärenschichten, auf deren Leitvermögen das Sonnenlicht einen merklichen Einfluß ausüben kann. Daß die Auffassung den

9) Die Versuche von K. E. F. Schmidt (diese Ztschr. **8**, 5, 1907), der mit einer vertikalen Antenne und einseitig ausgespanntem Erdnetz arbeitete, erklären sich ebenfalls dadurch ohne weiteres.

10) Ich glaube das aus einer Mitteilung schließen zu müssen, die ich der Freundlichkeit des Direktors der Marconi-Gesellschaft verdanke.

11) Vgl. z. B. F. Braun, Jahrb. f. drahtl. Telegr. 1, 1 ff., 1907.

12) E. Bellini u. A. Tosi, Electrician **60**, 748 f., 1908. Vermutlich sind auch die Anordnungen von Artom ebenso zu erklären.

13) G. Marconi, Electrician **54**, 824, 1905.

oberen Atmosphärenschichten überhaupt eine ganz besondere Rolle für die Fortpflanzung der Wellen zuweist, kann wohl nur zu ihrer Empfehlung dienen.[14])

Ernstliche Bedenken gegen die angegebene Auffassung scheinen mir nicht vorzuliegen. Daß das Vorstehende weit davon entfernt ist, diese Auffassung streng zu beweisen, darüber kann kein Zweifel sein.

Auf der anderen Seite handelt es sich bei den Sendern für gerichtete Telegraphie um eine Anordnung, die das größte praktische Interesse beanspruchen muß, seitdem es damit zum ersten Male gelungen ist, einen regelmäßigen transatlantischen Verkehr einzurichten. Eine strenge mathematische Behandlung des Problems führt jedenfalls auf ungeheure Schwierigkeiten, so daß seine Lösung wohl von der nächsten Zeit nicht zu erwarten ist. Für die Zwischenzeit darf man wohl die angegebene Auffassung[15]) als ein wenigstens erlaubtes Aushilfsmittel betrachten.

14) Wenn die oberen Atmosphärenschichten wirklich ein so hohes Leitvermögen bekommen können, wie es zum Teil angenommen wird, könnte dadurch übrigens der Verlauf der Kurven der mittleren Strahlung (Fig. 5) erheblich beeinflußt werden.

15) Zusammen mit dem Gesichtspunkt, auf den K. Uller (Fußnote 3) hingewiesen hat.

Braunschweig, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule.

(Eingegangen 12. Juli 1908.)

Eine Methode zur Erzeugung von Wechselströmen beliebiger Periodenzahl.

Von Reinhold Rüdenberg.

In dieser Zeitschrift **8**, 924, 1907 übt Herr O. M. Corbino eine eigenartig scharfe Kritik an meiner Veröffentlichung über die Erzeugung von Wechselströmen mittels kondensatorbelasteter Kollektordynamomaschinen (diese Zeitschrift **8**, 668, 1907).

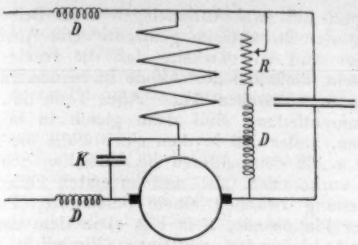
Zunächst nimmt er mit Emphase „die Methode in all ihren Einzelheiten als sein geistiges Eigentum" in Anspruch, da er das Prinzip derselben bereits im Jahre 1904 veröffentlicht habe. Mit meinen Versuchen sei ich ihm nur deshalb „zuvorgekommen", weil er sich bisher nur mit hochfrequenten Strömen beschäftigt habe, übrigens habe er jetzt „mein weniger ansehnliches Ergebnis", nämlich die erreichte Wechselstromfrequenz von 70 pro Sekunde, um das Doppelte übertroffen.

Ich möchte dazu bemerken, daß ich niemals die Absicht hatte, mit der kleinen normalen Dynamomaschine, die zu den Experimenten diente, irgendwelche Rekordversuche anzustellen, da mir meine Berechnungen klar zeigten, daß es mit Eisen enthaltenden Maschinen doch nicht möglich ist, Hochfrequenzströme zu erzeugen, sondern daß man dazu eisenfreier Dynamos bedarf, die sich in gut ausführbaren Abmessungen herstellen lassen. Merkwürdigerweise ist Herr Corbino in einer neueren Veröffentlichung (diese Zeitschrift **9**, 193, 1908) zu genau derselben Ansicht gelangt, die er früher in seiner Kritik als „sehr gewagt" verworfen hatte. Es zwangen ihn erst Mißerfolge an drei eigens zu diesen Zwecken konstruierten Maschinen dazu, meiner Anschauung beizutreten.

Was nun das „geistige Eigentum" an der Methode anbelangt, so gestehe ich gern, daß mir die frühere kurze Arbeit von Herrn Corbino unbekannt gewesen war, was er mir gewiß zum Vorwurfe machen darf. Einen viel ernsteren Vorwurf muß er dann aber gegen sich selbst erheben, denn in derselben Zeitschrift, die er als Beleg für seine Priorität anführt, findet sich bereits 12 Jahre zuvor[1]) eine Arbeit von G. F. Fitzgerald (Éclairage Électrique, **18**, 386, 1892) über die „Erzeugung elektrischer Schwingungen durch elektromagnetische und elektrostatische Maschinen", die zwar längst nicht alle die Punkte enthält, die in meiner Veröffentlichung berührt sind, in der sich aber sämtliche in Frage kommenden Einzelheiten des früheren Corbinoschen Artikels finden. Herr Corbino kann sich nach alledem also weder die Priorität des Prinzips der Methode, noch der Anstellung von Versuchen noch irgendeines anderen Gedankens meiner Veröffentlichung zusprechen.

Wie ungerechtfertigt die Angriffe von Herrn Corbino sind, geht besonders deutlich aus dem letzten Punkte seiner Kritik hervor, indem er meine Angabe bestreitet, daß man „eine Kollektordynamo gleichzeitig als Motor mit Gleichstrom und als Generator für Wechselstrom laufen lassen kann — so daß man eines besonderen Antriebsmotors nicht bedarf — wobei eine Trennung der beiden Stromarten durch eingeschaltete Selbstinduktionsspulen und Kapazitätszellen leicht zu bewirken ist". Daß eine Seriendynamo, wie er betont, als Motor und als Generator im entgegengesetzten Drehsinne laufen müßte, ist mir wirklich nicht ganz unbekannt gewesen; Herrn Corbino scheint es aber nicht bekannt zu sein, daß man, statt den Drehsinn zu ändern, auch die Stromrichtung im Anker oder Erregerfeld umschalten kann, um aus dem Motor einen Generator zu machen. Würde er z. B. die Schaltung der Figur (S. 557) anwenden, in der durch die Drosselspulen D und die Kapazität K erreicht ist, daß die Gleich- und Wechselströme den Erregerkreis gleichsinnig,

1) Ich wurde durch die frdl. Mitteilungen von Herrn J. Bethenod kürzlich auf diese Veröffentlichung aufmerksam.



den Anker gegenläufig durchfließen und in der R einen Regulierwiderstand bedeutet, so dürfte ihm den Versuch gelingen.

In einer weiteren Veröffentlichung (diese Zeitschrift **9**, 195, 1908) kommt Herr Corbino auf den zuletzt besprochenen vermeintlichen Fehler meiner Arbeit wieder zurück, und bemüht sich, eine andere Anordnung zu finden, die vermittels einer einzigen Dynamo Gleichstrom in Wechselstrom zu verwandeln gestattet. Es sind in Wirklichkeit eine Reihe derartiger Schaltungen möglich, eine recht interessante ist die von Herrn Corbino vorgeschlagene Nebenschlußmaschine mit Gleichstromzuführung im Erregerkreise, nur befindet er sich im Irrtum über die angeblichen Vorteile hinsichtlich der erforderlichen Geschwindigkeit dieser Anordnung.

Um Selbsterregung zu ermöglichen, bedarf jede Dynamomaschine einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit, oberhalb deren sie erst äußere Arbeit leisten kann. Herr Corbino sucht nun zu beweisen, daß die Nebenschlußanordnung eine geringere derartige kritische Geschwindigkeit besitzt, als die Serienanordnung, was ihm aber nur unter Annahme bestimmter Wicklungsverhältnisse gelingt, die er genau so gut so hätte wählen können, daß das entgegengesetzte Resultat herauskommt. In der Tat wird niemand daran denken, etwa eine als Nebenschlußdynamo gebaute Maschine als Hauptstromdynamo verwenden zu wollen, da man sonst einen minimalen Wirkungsgrad zu erwarten hätte. Die kritische Tourenzahl und die Größe des Wirkungsgrades hängen in Wirklichkeit nur von der geometrischen Anordnung der Maschine ab, sofern man dafür sorgt, daß stets die günstigsten Wicklungsverhältnisse ausgeführt sind.

Durch eine kurze Energiebetrachtung läßt sich der Beweis für diesen Satz führen. Im Feld- und Ankerstromkreise werden durch Joulesche Wärme die Energiemengen vergeudet:

$$W = R_f i_f^2 + R_a i_a^2, \qquad (1)$$

während durch die Rotation des Ankers der Betrag

$$A = K i_f i_a \qquad (2)$$

erzeugt wird. $K i_f$ bedeutet darin die EMK. des Ankers, die bei einer eisenlosen Maschine außer der Feldstromstärke noch der Windungszahl N in Feld- und Ankerwicklung, sowie der Tourenzahl n proportional ist:

$$A = \varkappa \cdot N_f N_a i_f i_a n. \qquad (1a)$$

Der Proportionalitätsfaktor $\varkappa$ enthält dann nur noch die geometrischen Dimensionen der Maschine. Sind diese gegeben, dann hängen die Ohmschen Widerstände vom Quadrate der Windungszahlen ab, so daß man schreiben kann

$$W = \varrho_f N_f^2 i_f^2 + \varrho_a N_a^2 i_a^2, \qquad (2a)$$

wobei die Werte von ϱ die Abmessungen der Kupferquerschnitte und deren spezifische Leitfähigkeit enthalten.

Der elektrische Wirkungsgrad ist als Verhältnis der nutzbar abgegebenen zur aufgewandten Energiemenge:

$$\eta = \frac{A - W}{A} = 1 - \frac{1}{\varkappa n}\left|\varrho_f \frac{N_f i_f}{N_a i_a} + \varrho_a \frac{N_a i_a}{N_f i_f}\right|, \qquad (3)$$

er besitzt ein Maximum für ein ganz bestimmtes Verhältnis der Amperewindungen im Feld- und Ankerkreis, nämlich für

$$\frac{N_f i_f}{N_a i_a} = \sqrt{\frac{\varrho_a}{\varrho_f}} \qquad (4)$$

und wird dann

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{2\sqrt{\varrho_a \varrho_f}}{\varkappa n}. \qquad (5)$$

Die Optimumsbedingung (4), die man auch in der Form

$$R_f i_f^2 = R_a i_a^2 \qquad (4a)$$

schreiben kann, drückt aus, daß Ankerverlust und Erregerverlust gleich sein sollten; sie läßt sich bei vorgeschriebener Schaltung, d. h. bei gegebenem $\frac{i_f}{i_a}$, nur durch richtige Wahl des Windungsverhältnisses erfüllen. Hat man dies aber einmal getan — es ergeben sich natürlich bei Nebenschluß- und Serienmaschinen gänzlich verschiedene Werte — dann hängt der Wirkungsgrad überhaupt nicht mehr von der speziellen Schaltung ab, sondern ist nur durch Dimensionen und Tourenzahl bestimmt.

Die kritische Tourenzahl selbst, die durch $\eta = 0$ bestimmt wird, ist dann

$$n_0 = \frac{2}{\varkappa}\sqrt{\varrho_a \varrho_f}, \qquad (6)$$

sie ist ebenfalls unabhängig von der Schaltung. Da übrigens nach ihren Definitionen die Größe $\varkappa$ direkt, ϱ dagegen umgekehrt proportional den linearen Dimensionen der Maschine sind, so nimmt die zum Betriebe mindestens notwendige Tourenzahl n_0 bei ähnlich gebauten Modellen umgekehrt wie das Quadrat der Abmessungen ab, so daß man bei großen Maschinen günstigere Verhältnisse für die mechanische Festigkeit erhält als bei kleinen.

Es geht aus diesen Rechnungen hervor, daß das Urteil, das Herr Corbino zugunsten der Nebenschlußdynamo fällt, nur dadurch zustande kommt, daß er eine richtig gebaute Nebenschlußmaschine mit einer verkehrt konstruierten Serienmaschine vergleicht. Sämtliche Vorteile, die er dem Nebenschlußsystem zuschreibt, sind daher in Wirklichkeit nicht vorhanden.

Göttingen, 8. Juni 1908.

(Eingegangen 11. Juni 1908.)

Experimentelle Untersuchungen über die geschichtete positive Glimmlichtsäule.

Von R. Holm.

Auf Anregung von Geheimrat Riecke studierte ich im Göttinger physikalischen Institut eine Zeitlang die Glimmentladung mit geschichteter positiver Säule. Ich machte hauptsächlich Messungen des Potentialgefälles und der Schichtenlänge in der positiven Säule.

Die komplizierte funktionelle Abhängigkeit dieser Größen von Stromstärke und Gasdruck fiel mir bald auf. Die bisherige Theorie (siehe z. B. Winkelmann, Handb. d. Physik **4**, 470) erklärt von dem eigentümlichen Phänomen eigentlich nur die Wiederholung der Schichten. Für die Begründung einer besseren Theorie war bisher das Beobachtungsmaterial sehr mangelhaft. Ich habe einen Anfang zu einer vollständigeren Beobachtungssammlung gemacht. Ein ausführlicher Bericht über meine hierhergehörigen Untersuchungen ist in den Abhandlungen der Kgl. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen, Math.-phys. Kl. N. F. **6**, 2 (Weidmannsche Buchhandl., Berlin 1908) erschienen.

Meine Messungen des Spannungsabfalles geschahen nach folgenden zwei Methoden:

Methode I (angegeben von Prof. J. Stark).

In einem gleichmäßig dicken Entladungsrohr mit beweglicher Anode werden Beobachtungen mit zwei Anodenlagen unter Beibehaltung der Stromstärke gemacht. Die Anodenlagen sind so gewählt, daß die leuchtende Schicht dicht bei der Anode in beiden Fällen dasselbe Aussehen hat. Alle Teile in der Glimmentladung sind dann gleich in beiden Fällen, außer daß in dem einen Falle die Anzahl n_1, in dem anderen die Anzahl n_2 Schichten vorkommen. Ist nun im ersten Falle die Spannung zwischen einem bestimmten Punkt (einer Platinsonde, S in Fig. 1) in dem unverändert bleibenden negativen Glimmlicht und der Anode V_1, in dem anderen Falle V_2, so ist das Potentialgefälle p von einer Schicht zur folgenden im Mittel

$$p = \frac{V_1 - V_2}{n_1 - n_2}.$$

Methode II (H. A. Wilsons Methode).

Die beiden Elektroden und mit ihnen das ganze Glimmlichtphänomen sind beweglich, so daß verschiedene Teile des Glimmlichts für zwei feste Sonden eingestellt werden können, die nacheinander mit ein paar mm Abstand in das Glimmlicht eintauchen. Zwischen diesen wird die Potentialdifferenz gemessen, wodurch ein Maß für das Potentialgefälle im eingestellten Teil des Glimmlichts erhalten wird.

Bezüglich der Meßapparate und deren Eichung siehe meine erwähnte Abhandlung. Besonders weise ich auf die Isolierungsprüfungen daselbst in § 15 hin.

Bei den Messungen nach Methode I habe ich gleichzeitig Messungen von Schichtenlängen gemacht.

Wasserstoff, Stickstoff und Helium wurden untersucht.

Ich verwandte zwei Beobachtungsrohre:

Rohr I mit lichtem Durchmesser 40 mm, Rohr II mit lichtem Durchmesser 20,3 mm. Die Rohre wurden in horizontaler Lage und bei horizontaler Stellung der betr. Sonden angewendet.

Beide Elektroden in Rohr I, die Anode in Rohr II und die Sonden S und s in Rohr I

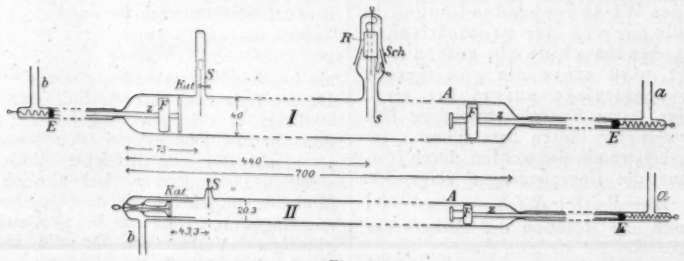


Fig. 1.

waren magnetisch verschiebbar. Die Sonden waren verschiebbar um in Rohr I den beweglichen Elektroden Platz machen zu können.

Die wichtigsten Messungsresultate werden hier durch Diagramme wiedergegeben (Fig. 2 und 3).

Bezeichnungen:

Gasdruck in mm Quecksilber gemessen B
Stromstärke in Milliampère gemessen J
Mittlerer Abstand in mm zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schichten, Schichtenlänge SS
Mittleres Potentialgefälle von einer Schicht zur folgenden (vgl. Methode I) p.

Die Diagramme A haben die Koordinaten p und J,
die Diagramme B haben die Koordinaten SS und J.

In diese Koordinatensysteme sind die einzelnen Messungen auspunktiert, und durch diejenigen Punkte, die demselben Druck angehören, sind Kurven gezogen. Die die Kurven unterbrechenden Ziffern geben den betr. B an.

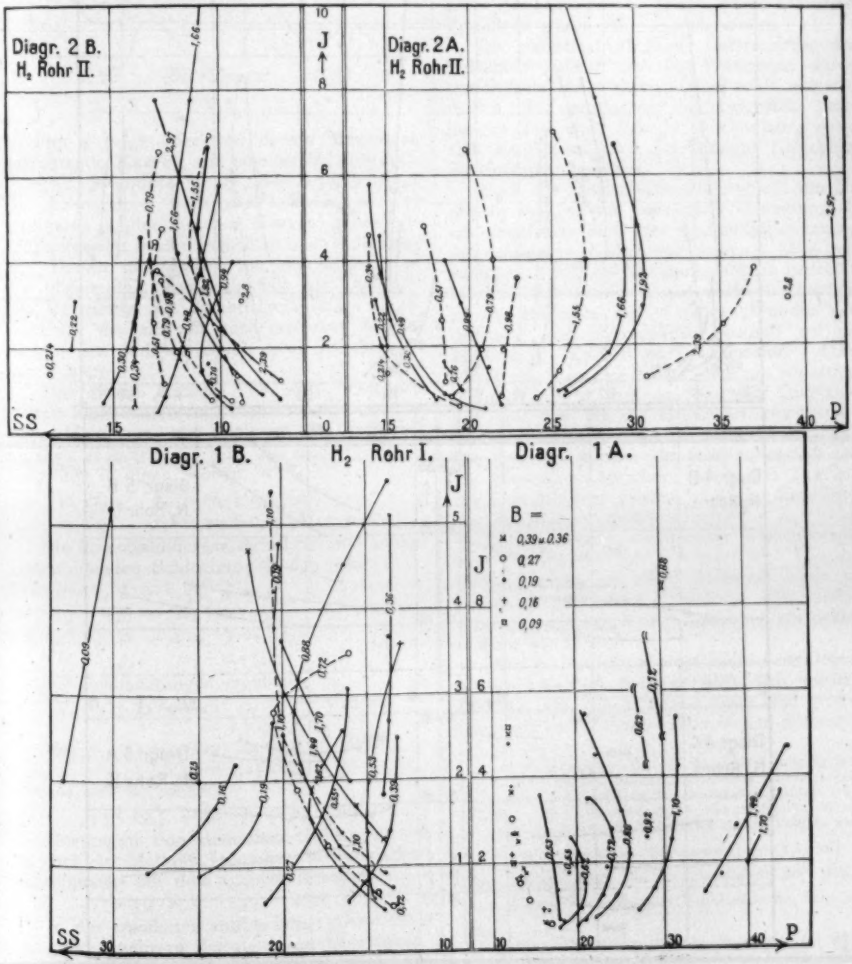


Fig. 2.

Die betr. Gase und Rohre, auf die sich die Diagramme beziehen, sind an den Diagrammen vermerkt. Es muß aber bemerkt werden:

1. daß in den Diagrammen 2 die ausgezogenen Kurven sich auf von *Hg* nicht sehr gut befreiten H_2 beziehen, während die gestrichelten Kurven und die kleinen Kreise von Beobachtungen an sehr reinem H_2 herrühren;

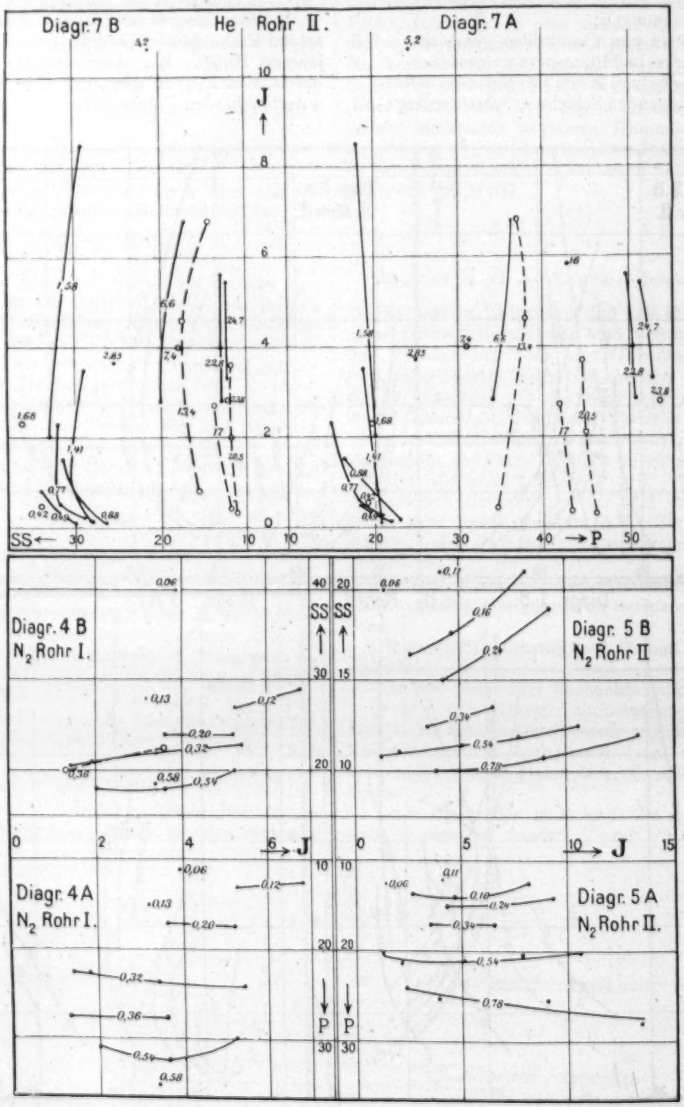


Fig. 3.

2. daß in den Diagrammen 7 die kleinen Kreise und die gestrichelten Kurven Beobachtungen an weniger reinem *He*-Gas als die übrigen Beobachtungen bezeichnen.

Die Messungen nach Methode II wurden im Rohr I ausgeführt.

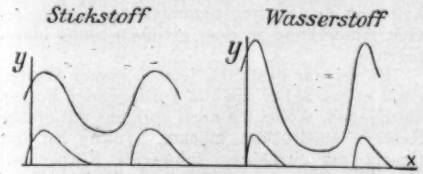


Fig. 4.

Fig. 4 zeigt zwei von diesen Messungen herrührende Kurven, die eine für H_2, $B = 0{,}55$, $\mathcal{J} = 2$; die andere für N_2, $B = 0{,}36$, $\mathcal{J} = 3{,}6$. Die Abszissen x geben die Längen an. Die Ordinaten y der unteren Kurven geben die Lichtintensität in den Schichten nach Schätzung an. Diesen unteren Kurven zugeordnet sind die oberen mit Potentialgefälle als Ordinate. Die Verteilung des Potentialgefälles ist so gezeichnet, wie sie mir nach mehreren Sondierungen hin und her durch zwei Schichten zu sein schien.

Aus diesen Kurven läßt sich berechnen (durch Flächenmessung), daß, wenn M und m bezw. Maximum und Minimum des Potentialgefälles bedeuten, so wird das mittlere Potentialgefälle in einer Schicht

$$\text{in } H_2: \quad y_1 = m_1 + 0{,}31\,(M_1 - m_1)$$
$$\text{in } N_2: \quad y_2 = m_2 + 0{,}43\,(M_2 - m_2).$$

Die Potentialdifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schichten soll also sein

$$\text{für } H_2,\ B = 0{,}55,\ \mathcal{J} = 2 \qquad p_1 = \{m_1 + 0{,}31\,(M_1 - m_1)\} \cdot SS_1,$$
$$\text{für } N_2,\ B = 0{,}36,\ \mathcal{J} = 3{,}6 \qquad p_2 = \{m_2 + 0{,}43\,(M_2 - m_2)\} \cdot SS_2.$$

Die Beobachtungen ergaben

$$M_1 = 26{,}5 \text{ Volt/cm}; \quad m_1 = 4{,}7 \text{ Volt/cm}; \quad SS_1 = 1{,}7 \text{ cm},$$
$$M_2 = 19{,}1 \text{ Volt/cm}; \quad m_2 = 6{,}8 \text{ Volt/cm}; \quad SS_2 = 2{,}25 \text{ cm},$$

woraus sich berechnet

$$p_1 = 19{,}5 \text{ Volt}, \quad p_2 = 27 \text{ Volt}.$$

Messungen von denselben Größen p_1 und p_2 nach der Methode I ergaben in guter Übereinstimmung mit dem vorigen Resultat

$$p_1 = 19 \text{ Volt}, \quad p_2 = 27{,}5 \text{ Volt}.$$

In der erwähnten ausführlichen Abhandlung gebe ich mehrere Beispiele von Übereinstimmung zwischen den Messungen nach den beiden Methoden I und II. Da die Methode I für die Messung von p ziemlich einwandfrei sein dürfte, so spricht dies dafür, daß Messungen des Potentialgefälles mit zwei Sonden gleich nacheinander qualitativ und auch quantitativ recht zuverlässige Resultate geben. Das ist nicht ohne weiteres zu erwarten. Man bedenke, daß die freie Weglänge der Elektronen bei den betreffenden Drucken etwa 0,5 bis 3 mm beträgt [1]), das heißt von derselben Größenordnung ist, wie der Abstand zwischen den Sonden. Ich will indessen ausdrücklich betonen, daß ich meine hierhergehörigen Messungen nicht für ausführlich genug halte. Weitere Prüfungen wären sehr wünschenswert.

Die eintretende deutliche Deformierung der Schichten scheint auf die Messungen wenig verfälschend zu wirken. Dabei muß man natürlich das gemessene Potentialgefälle demjenigen Teil einer Schicht zuschreiben, worin sich die Sonden nach der etwaigen Schichtendeformierung befinden.

Nach der Ionenstoßtheorie [2]) würde ein Minimum von p eine prinzipielle Bedeutung als ein ungefähres Maß der Ionisierungsspannung der negativen Elektronen haben. Was nun auch ein derartiges Minimum wirklich bedeutet, in den Diagrammen 1 und 2 (Beobachtungen an H_2) tendieren die p mit wachsender Verdünnung und Stromstärke deutlich auf ein Minimal-$p = 13$ Volt zu. [3]) Diagramm 7 *A* (Beobachtungen an *He*) deutet auch ein derartiges Minimal-$p = 15$ Volt an. In N_2, Diagramm 4 *A* und 5 *A*, ist die Grenzwertbeschaffenheit des Minimal-p (= etwa 11) nicht so auffallend. Die Schichtung wird da sehr undeutlich und die Messungen unsicher, schon bei Drucken, die ziemlich viel größer sind als die, denen das Minimal-p angehören würde.

In Diagramm 1 *A* sind einige Beobachtungen statt mit Punkten mit ‹ bezeichnet. Das sind Beobachtungen an einer positiven Säule mit paarweise geordneten Schichten. Die hierhergehörigen p-Werte beziehen sich auf ein Schichtenpaar als Einheit.

Wie das Diagramm zeigt, kommt das Doppelschichtphänomen hauptsächlich bei mittleren Drucken vor. In reinerem Gase sind größere Stromstärken als in weniger reinem notwendig,

1) Vgl. Thomson-Marx, Elektrizitätsdurchgang in Gasen, S. 468. Die da gemachte Berechnung setzt voraus, daß die Elektronen viel größere Geschwindigkeit besitzen als die Moleküle. Diese Voraussetzung ist hier richtig. In H_2, z. B., bei 1 mm Druck und in einem Felde von 10 Volt/cm wächst die Geschwindigkeit der Elektronen $\left(\frac{e}{m} = 1{,}8 \cdot 10^7\right)$ mit einem Betrage gleich der Geschwindigkeit der Moleküle schon in etwa $\frac{1}{50}$ der Zeit des Durchlaufens der freien Weglänge.

2) Vgl. z. B. Winkelmann, Handbuch der Physik 4, 470; auch Pentscheff, diese Zeitschr. 7, 463, 1906.

3) Vgl. § 25 in meiner erwähnten Abhandlung.

um Doppelschichten hervorzurufen. Damit hängt zusammen, daß bei mittleren Drucken die gestrichelten Kurven in Diagramm 2 *A*, die von Beobachtungen an sehr reinem Gase herrühren, später (bei größeren Stromstärken) nach links abbiegen als die ausgezogenen Kurven (siehe die Kurven für $B = 0{,}76$ und $B = 0{,}99$), die sich auf weniger reines Gas beziehen. In völlig reinem Gase würden die Doppelschichten vielleicht gänzlich fehlen.

Dem Reinheitsgrad der untersuchten Gase habe ich durch Spektralphotographien eine Art Definition gegeben. Wenn man quer zur Röhre photographiert, so ist zu bemerken, daß in H_2 und N_2 das Spektrum des negativen Glimmlichtes, in *He* dasjenige der positiven Schichten am empfindlichsten gegen Verunreinigung ist.

Eine der schädlichsten Verunreinigungen ist die durch Quecksilberdampf. Ein Kühlrohr dauernd in flüssiger Luft gehalten schützt absolut dagegen. Muß man aber die Kühlung bisweilen, wenn auch nur ein paar Stunden, unterbrechen, so ist es notwendig, für die Zwischenzeit ein besonderes Schutzmittel zu haben. Ich verwandte Pfropfen von versilberter Glaswolle nebst Blattgold. Sind die Elektroden aus Aluminium, so ist, wie manchmal hervorgehoben, dauernder Schutz gegen *Hg*-Dampf besonders notwendig, da der *Hg*-Dampf sich mit dem *Al* amalgamiert und die verschmutzten Elektroden sehr schwer zu reinigen sind. Bei meinen Untersuchungen habe ich leider (siehe die ausführliche Abhandlung) anfangs diese Vorschriften nicht streng befolgt, und es ist mir deshalb nicht gelungen, von *Hg* vollständig befreiten H_2 zu bekommen.

(Eingegangen 7. Juni 1908.)

Zur Strahlungstheorie.

Von H. A. Lorentz.

Die Herren Lummer und Pringsheim haben vollkommen recht in den Bemerkungen[1]), zu welchen mein auf dem Mathematikerkongreß in Rom gehaltener Vortrag sie veranlaßt hat; in meiner Besprechung der Jeansschen Strahlungsformel hatte ich übersehen, daß man die Abweichung derselben von der Erfahrung nicht durch die Annahme eines (was die kürzeren Wellen betrifft) sehr langsamen Energieaustausches erklären kann, ohne mit bekannten Tatsachen in Widerspruch zu geraten. Nur war ich nicht soweit gegangen, mich für die Jeanssche und gegen die Plancksche Theorie zu erklären; ich glaubte eben mich einer Entscheidung zwischen den beiden enthalten zu müssen. Nachdem Herr W. Wien so freundlich gewesen war, mich brieflich auf meinen Fehler aufmerksam zu machen, habe ich diesen in dem Vortrag, wie er in dem Nuovo Cimento und der Revue générale des sciences erscheinen wird, verbessert; auch werde ich der Publikation in den Sitzungsberichten des Kongresses eine Anmerkung in dem gleichen Sinne hinzufügen.

Es sei mir gestattet, jetzt in kurzen Worten noch etwas näher auf die vorliegenden Fragen einzugehen, wobei ich mich übrigens mit großer Reserve ausdrücken möchte. Jeans hat das Gesetz der Strahlung schwarzer Körper aus dem Theorem der sogenannten „Equipartition of energy" abzuleiten versucht, und es ist gewiß sehr merkwürdig, daß ihm dies für lange Wellen auch wirklich gelungen ist. Was die kürzeren Wellen anbelangt, so stand seine Gleichung offenbar mit den Beobachtungen nicht im Einklang. Ich habe nun lange gehofft, es würde möglich sein, auch wenn man sich an die gewöhnlichen Anschauungen der Elektronentheorie, verbunden mit denen der kinetischen Theorien, hält, der allgemeinen Anwendbarkeit jenes Theorems zu entgehen. Diese Hoffnung hat sich nicht erfüllt, und es war eben der Hauptzweck meines Vortrags, zu zeigen, daß sich aus den, man kann wohl sagen, allgemein angenommenen Grundsätzen der Elektronentheorie für ein aus Äther, Atomen und Elektronen bestehendes System Gleichungen ableiten lassen, die die Form der Hamiltonschen Bewegungsgleichungen haben, und unter Anwendung der Gibbsschen statistischen Mechanik zu der Formel von Jeans führen. Jetzt, da es mir klar geworden ist, auf wie beträchtliche Schwierigkeiten man auf diesem Wege stößt, kann ich nur schließen, daß eine Ableitung der Strahlungsgesetze aus der Elektronentheorie schwerlich ohne tiefgehende Änderung ihrer Grundlagen möglich sein wird, und muß ich die Plancksche Theorie als die einzig haltbare betrachten. Wir werden uns vorstellen müssen, daß der Energieaustausch zwischen ponderabler Materie und Äther zustande kommt durch Vermittlung der von Planck angenommenen Resonatoren oder ähnlicher Teilchen, die sich aus irgendeinem Grunde der Anwendung der Gibbsschen Sätze entziehen.[1]) Daß derartige Teilchen bestehen, ist natürlich sehr gut denkbar und dürfen wir hoffen, daß es Planck einmal gelingen werde, durch geeignete, ihre Eigenschaften betreffende Annahmen die Bedeutung des von ihm erdachten Energieelementes dem Verständnis näher zu

1) Diese Zeitschr. **9**, 449, 1908.

1) Vgl. Planck, Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung, S. 178.

bringen, was ein sehr wichtiger Fortschritt sein wird.

Ich muß indes eine Schwierigkeit hervorheben. Die schönen Erfolge der von Drude entwickelten Theorie der Wärme- und Elektrizitätsleitung machen es höchstwahrscheinlich, daß die Metalle freie Elektronen enthalten, und ich sehe keinen Grund, weshalb die Betrachtungsweise der statistischen Mechanik uns für solche Teilchen versagen sollte. Das würde aber zu der Schlußfolgerung führen, daß sich unter dem Einfluß der Resonatoren ein Gleichgewichtszustand, und unter dem Einfluß der freien Elektronen ein anderer, von jenem verschiedener Zustand einstellen würde.

Man kann nun annehmen, daß, was die kürzeren Wellen betrifft, die freien Elektronen nur einen sehr langsamen, die Resonatoren aber einen viel rascheren Energieübergang herbeiführen können. Ist das der Fall, so ist es möglich, daß die beobachtbaren Erscheinungen nach der Planckschen Theorie verlaufen, indem sie so vor sich gehen, als ob die freien Elektronen gar nicht da wären. Man müßte dann aber annehmen, daß der Einfluß dieser letzteren sich am Ende, wenn man ein System fortwährend sich selbst überläßt, bemerklich machen wird; infolgedessen würde das System, sei es auch äußerst langsam, dem von der Jeansschen Theorie geforderten Endzustande zustreben, ähnlich wie man sich vorstellen kann, daß bei Erwärmung eines mehratomigen Gases die Moleküle die gewissen Freiheitsgraden entsprechenden Energiebeträge erst in einer Zeit erhalten, die viel größer ist, als die auf Bestimmung der spezifischen Wärme verwendete.[1])

Allerdings bliebe bei dieser Auffassung noch ein Punkt der Aufklärung bedürftig. Aus den Messungen von Hagen und Rubens geht hervor, daß das Absorptionsvermögen eines Metalls für lange Wellen sich aus der Leitfähigkeit berechnen läßt. Es muß also die Absorption ebenso wie die Leitung auf einer Bewegung freier Elektronen beruhen, und wenn man dies zugibt, so muß man dasselbe auch von der Emission annehmen, da man das Kirchhoffsche Gesetz nur verstehen kann, wenn man Absorption und Emission auf nahe verwandte Ursachen zurückführt. In der Tat ist es gelungen, für lange Wellen aus der Betrachtung der Emission, von welcher die Stöße der Elektronen gegen die Atome begleitet sind, die richtige Strahlungsformel abzuleiten.[2]) Es fragt sich nun aber, woher es rühre, daß die freien Elektronen, die wir nach diesen Überlegungen als die Zentren der Ausstrahlung sehr langsamer Schwingungen betrachten dürfen, so ganz und gar in den Hintergrund treten, wenn es sich um raschere Schwingungen handelt.

Leiden, den 19. Juli 1908.

(Eingegangen 21. Juli 1908.)

1) Vgl. Boltzmann, Vorlesungen über Gastheorie, II, S. 131.

2) Es darf indes nicht unerwähnt bleiben, daß sich gegen diese Auffassung einige Bedenken erheben lassen. Siehe J. J. Thomson, The corpuscular theory of matter, S. 85.

Ein einfacher Polarisationsversuch.

Von Josef von Geitler.

Läßt man an einer jener rasch gekühlten Glasplatten, wie sie in jeder physikalischen Sammlung zum Nachweise der akzidentellen Doppelbrechung vorhanden sind, das diffuse Himmelslicht sich spiegeln, so erkennt man sehr deutlich die bekannten, durch die Doppelbrechung des Glases hervorgerufenen Interferenzfiguren. Es bedarf bei diesem Versuche keines besondern Polarisators oder Analysators, denn das Himmels- oder Wolkenlicht ist partiell polarisiert, und den Analysator bildet die rückwärtige Fläche der Glasplatte selbst.

Fällt das Himmelslicht durch die Glasplatte auf eine passend hinter dieselbe gehaltene, unbelegte oder geschwärzte Glasscheibe als Analysator, so wird die Erscheinung noch deutlicher. Man überzeugt sich leicht, daß der Versuch mit einer natürlichen Lichtquelle nicht gelingt.

Da ich nicht ermitteln konnte, ob der beschriebene Versuch bekannt ist, so erlaube ich mir, ihn wegen seiner großen Einfachheit mitzuteilen.

Czernowitz, Physikalisches Institut der k. k. Universität, 21. Juni 1908.

(Eingegangen 24. Juni 1908.)

Zur Brechung und Absorption des Lichtes in absorbierenden Medien.

Von H. Erfle.

Kürzlich habe ich gezeigt[1]), daß in den Absorptionsstreifen der selektiv absorbierenden Metalldämpfe sowohl sehr große Dispersion und Absorption als auch im Zusammenhang damit sehr große und sehr kleine Brechungsexponenten möglich sind nach der Drudeschen, Planckschen und Lorentzschen Theorie. Speziell im Anschluß an die Drudesche Elektronentheorie der Dispersion und Absorption habe ich an dem speziellen Beispiel eines Metalldampfes mit einem Absorptionsstreifen λ_A gezeigt, daß nach dem Formelpaar

1) H. Erfle, Zur anomalen Dispersion der Metalldämpfe, Verhandl. d. deutschen physik. Gesellsch. 10, 35—53, 1908; vgl. auch das Referat im Archiv für Optik 1, 289—291, 1908.

$$(1)\quad n^2-(n\varkappa)^2 = 1+\frac{m_k\lambda^2(\lambda^2-\lambda_k^2)}{(\lambda^2-\lambda_k^2)^2+g_k^2\lambda^2}$$

$$(2)\quad 2n\cdot(n\varkappa) = \frac{m_k g_k\lambda^3}{(\lambda^2-\lambda_k^2)^2+g_k^2\lambda^2}$$

mit Benutzung der Konstanten

$m_k = 55\cdot 10^{-6}$, $g_k = 10^{-4}\,\mu\mu$, $\lambda_k = 589\,\mu\mu$

das Minimum des Brechungsexponenten n wird 0,00475 bei 588, 988 $\mu\mu$ und das Maximum 14,02 für die Wellenlänge $\lambda = 589+5\cdot 10^{-5}\,\mu\mu$; das Maximum des Extinktionsmoduls $n\varkappa$ war 13,9 für $589-5\cdot 10^{-5}\,\mu\mu$.

Der Extinktionsmodul $n\varkappa$ ist dadurch definiert, daß ein im Medium fortschreitender Strahl von der auf das Vakuum bezogenen Wellenlänge λ nach Zurücklegung der Strecke λ auf den Bruchteil $e^{-4\pi n\varkappa}$ seiner Intensität gekommen ist.[1])

Man könnte nun vermuten, daß für einen so kleinen Brechungsindex wie 0,00475 ja schon bei ganz kleinen Einfallswinkeln Totalreflexion eintreten müßte.[2]) Doch ist dies nicht der Fall. Es kann vielmehr an keinem stark absorbierenden Medium Totalreflexion eintreten.[3]) Bekanntlich sind bei absorbierenden Medien Brechungsindex und Extinktionsmodul vom Einfallswinkel abhängig. Die in den Formeln (1) und (2) vorkommenden n und $n\varkappa$ beziehen sich auf senkrechte Inzidenz, d. h. auf solche Lichtbewegungen, bei denen die Flächen gleicher Phase mit denen gleicher Amplitude zusammenfallen. Insbesondere bei Metallen mit $n<1$ nimmt n_φ rasch zu mit wachsendem Einfallswinkel φ, so daß für größere Einfallswinkel n_φ schließlich größer als 1 wird. Da bei Metalldämpfen sehr kleine Brechungsindizes n vorkommen können, so sei im folgenden speziell die Veränderlichkeit des n_φ bei Metalldämpfen für verschiedene Wellenlängen durch einige Zahlenangaben kurz dargestellt.

Zunächst sollen die in Betracht kommenden Formeln angegeben werden, die zuerst von Ketteler theoretisch abgeleitet worden sind und deren Richtigkeit durch du Bois, Rubens, Shea, Pflüger experimentell bewiesen wurde.[4])

Beziehen sich n_r und $(n\varkappa)_r$ auf den Brechungswinkel r, n und $n\varkappa$ auf $r=0$, dann ist[1])

$$(3)\quad n_r^2-(n\varkappa)_r^2 = n^2-(n\varkappa)^2,$$

$$(4)\quad n_r\cdot(n\varkappa)_r\cdot\cos r = n\cdot(n\varkappa),$$

wobei zwischen Einfallswinkel φ und Brechungswinkel r immer die Beziehung besteht:

$$(5)\quad n_r = \frac{\sin\varphi}{\sin r}.$$

r ist der Winkel, den die Ebenen gleicher Amplitude mit denen gleicher Phase bilden. Wenn r zunimmt, dann nimmt $\cos r$ ab und daher nach (4) $n_r\cdot(n\varkappa)_r$ zu. Aus (3) folgt weiter, daß n_r gleichzeitig mit $(n\varkappa)_r$ zu- oder abnimmt, da die Differenz $n_r^2-(n\varkappa)_r^2$ konstant bleibt. Mit wachsendem Brechungswinkel nimmt daher sowohl n_r als auch $(n\varkappa)_r$ zu. Da aus (4) und (5) die Gleichung folgt:

$$(5a)\quad (n_r^2-\sin^2\varphi)\cdot(n\varkappa)_r^2 = n^2(n\varkappa)^2,$$

so ist immer $n_r > \sin\varphi$, d. h. es ist immer $\sin r = \frac{\sin\varphi}{n_r} < 1$, es kann keine totale Reflexion an dem absorbierenden Medium stattfinden. Aus (3), (4), (5) folgt

$$(6)\quad 2n_\varphi^2 = \sqrt{[n^2-(n\varkappa)^2-\sin^2\varphi]^2+4n^2(n\varkappa)^2}+[n^2-(n\varkappa)^2+\sin^2\varphi]$$

$$(7)\quad 2(n\varkappa)_\varphi^2 = \sqrt{[n^2-(n\varkappa)^2-\sin^2\varphi]^2+4n^2(n\varkappa)^2}-[n^2-(n\varkappa)^2-\sin^2\varphi].$$

In (6) und (7) ist anstatt n_r, $(n\varkappa)_r$ bezw. n_φ, $(n\varkappa)_\varphi$ gesetzt. Führt man in (6) und (7) die von mir in der zitierten Arbeit benutzten Bezeichnungen ein:

$$(8)\quad A = n^2-(n\varkappa)^2$$

$$(9)\quad B = 2n\cdot(n\varkappa),\ \text{so erhält man}$$

$$(10)\quad 2n_\varphi^2 = \sqrt{(A-\sin^2\varphi)^2+B^2}+(A+\sin^2\varphi)$$

$$(11)\quad 2(n\varkappa)_\varphi^2 = \sqrt{(A-\sin^2\varphi)^2+B^2}-(A-\sin^2\varphi).$$

Um auch n_φ und $(n\varkappa)_\varphi$ durch den Brechungswinkel r auszudrücken, leite ich aus (3) und (4) das Formelpaar ab:

$$(12)\quad \begin{cases} 2n_\varphi^2 = \sqrt{A^2+\dfrac{B^2}{\cos^2 r}}+A. \\ 2(n\varkappa)_\varphi^2 = \sqrt{A^2+\dfrac{B^2}{\cos^2 r}}-A. \end{cases}$$

Nachfolgend einige Angaben über n_φ und $(n\varkappa)_\varphi$, berechnet aus der von mir für n und $n\varkappa$ gegebenen Tabelle.[2])

$\lambda = 588,\ 988\ \mu\mu$:

$A = -0{,}325$, $B = 5{,}42\cdot 10^{-3}$, $n = 0{,}00475$, $n\varkappa = 0{,}57$.

Solange nicht $\cos r$ sehr klein (r nahe bei 90°) ist, wird dann nach (12) näherungsweise

1) Bezeichnung „Extinktionsmodul" nach Kaysers Spektroskopie **3**, 15, 1905. In dem 4. Band von Kaysers Spektroskopie ist für diese Größe die Bezeichnung „Extinktionsindex" eingeführt; vgl. dort S. 291, 292, bes. auch S. 292, Anm. 1. Wo also in den von mir benutzten Gleichungen $n\varkappa$ steht, heißt es im 4. Band von Kaysers Spektroskopie K.

2) Wenn nämlich der Quotient $\sin\varphi/\sin r$ unabhängig von φ gleich 0,00475 wäre, so würde schon für $\sin\varphi = 0{,}00475$ $r = 90°$ werden (r ist der Brechungswinkel, φ der Einfallswinkel). (φ wäre also ca. 16′.)

3) Vgl. die Darstellung von Pflüger in Kaysers Handbuch der Spektroskopie 4, 426, 1908 und bes. S. 574—576.

4) Kaysers Spektroskopie 4, 575, 576, 1908.

1) Kaysers Spektroskopie **4**, 293, Gl. (60a), (60b), 574 Gl. (434). In der Arbeit von A. Pflüger, Wied. Ann. **65**, 215, 1898 muß es heißen: ϱ ist der Brechungswinkel.

2) l. c. S. 44.

$n_\varphi = \frac{B}{2\sqrt{|A|}\cos r} = \frac{n}{\cos r}$ und $(n\varkappa)_\varphi = n\varkappa = \sqrt{|A|}$. Einem Brechungswinkel 45^0 entspricht $n_\varphi = n\sqrt{2}$ und $\sin\varphi = \sqrt{2}\cdot\frac{n}{\sqrt{2}} = 0{,}00475$, d. h. $\varphi = 16'$. Für größere Einfallswinkel ist nach (10) und (11) näherungsweise $n_\varphi = \sin\varphi$, d. h. r nahe 90^0, $(n\varkappa)_\varphi = \sqrt{-A+\sin^2\varphi}$, z.B. für $\varphi = 45^0$, $n_\varphi = 0{,}707$, $(n\varkappa)_\varphi = \sqrt{0{,}825} = 0{,}908$, $\cos r = \frac{n\varkappa\cdot n}{(n\varkappa)_\varphi\cdot n_\varphi} = \frac{0{,}57\cdot 0{,}00475}{0{,}908\cdot 0{,}707}$, d. h. $r = 89^0 45'$.

Für $\varphi = 90^0$ wird $n_\varphi = 1$, genauer $n_\varphi = 1 + \frac{B^2}{8|A-1|} = 1 + 2{,}8\cdot 10^{-6}$; $(n\varkappa)_\varphi = \sqrt{1{,}325} = 1{,}151$, $r = 89^0 52'$ (aus $\cos r$ berechnet).

$\lambda = 589 + 5\cdot 10^{-5}\ \mu\mu$:

$A = 163$, $B = 162$, $n = 14{,}20$, $n\varkappa = 5{,}80$.

Hier kann $\sin^2\varphi$ gegen A vernachlässigt werden, daher ist für $\varphi = 0^0$ bis $\varphi = 90^0$ $n_\varphi = n$, $(n\varkappa)_\varphi = n\varkappa$. Der zu $\varphi = 90^0$ gehörige Brechungswinkel r ist $4^0 5'$.

$\lambda = 400\ \mu\mu$:

$A = 0{,}999953$, $B = 13{,}75\cdot 10^{-12}$, $n = 0{,}999976$, $n\varkappa = 6{,}9\cdot 10^{-12}$.

Für $\varphi = 90^0$ wird n_φ nahe gleich 1 (genauer $n_\varphi = 1 + 5\cdot 10^{-19}$), $(n\varkappa)_\varphi = 6{,}9\cdot 10^{-3}$.

$\lambda = 800\ \mu\mu$:

$A = 1{,}000120$, $B = 32{,}8\cdot 10^{-12}$, $n = 1{,}000060$, $n\varkappa = 16{,}4\cdot 10^{-12}$.

Für $\varphi = 90^0$ wird $n_\varphi = n$, $(n\varkappa)_\varphi = 15{,}0\cdot 10^{-10}$.

Besonders interessant ist der Verlauf von n_φ, bezw. die Abhängigkeit des Brechungswinkels r vom Einfallswinkel φ, für die Wellenlänge 588, 988 $\mu\mu$: Den kleinen Einfallswinkeln zwischen $0'$ und $16'$ entsprechen schon Brechungswinkel zwischen 0^0 und 45^0; allen einigermaßen großen Einfallswinkeln entsprechen Brechungswinkel nahe bei 90^0.

Für keine der angegebenen Wellenlängen tritt, entsprechend der allgemeinen Eigenschaft aller absorbierenden Medien, Totalreflexion am Metalldampf ein. Dagegen kann sehr wohl Totalreflexion stattfinden beim Übergang des Lichtes vom Metalldampf zum Vakuum, z. B. für $\lambda = 589 + 5\cdot 10^{-5}\ \mu\mu$.

München, Physikalisches Institut der technischen Hochschule, 17. Juni 1908.

(Eingegangen 21. Juni 1908.)

Eine Methode zur Messung des Momentanwertes einer Rotationsgeschwindigkeit.

Von J. Tuma.

Viele physikalische Messungen werden auf Bestimmungen von Rotationsgeschwindigkeiten zurückgeführt, welche dann aber ein längeres Konstanterhalten der Tourenzahl zur Voraussetzung haben. Diese Bedingung zu erfüllen, macht gewöhnlich bedeutende Schwierigkeiten. So z. B. ist es leicht, für kurze Zeit den Ton einer Sirene mit dem einer anderen Tonquelle in Übereinstimmung zu bringen. Schwer aber ist es, ihn so lange auf derselben Höhe zu erhalten, bis die Tourenzahl mit genügender Genauigkeit abgelesen werden kann. Noch schwieriger ist es, einen Foucaultschen rotierenden Spiegel auf konstanter Tourenzahl zu erhalten und dieselbe zu bestimmen.

In fast allen physikalischen Sammlungen findet sich ein Hippsches Chronoskop vor, welches wegen der Wirkung des remanenten Magnetismus eine prinzipiell fehlerhafte Konstruktion darstellt und darum auch als Demonstrationsmittel heute kaum mehr verwendet werden sollte. Durch die Anbringung des im folgenden beschriebenen Adapters läßt sich jedoch das Hippsche Chronoskop in ein zum obengenannten Zwecke sehr brauchbares Meßinstrument verwandeln.

1. Ausführungsform.

Fig. 1 zeigt das mit dem Adapter ausgerüstete Chronoskop, und Fig. 2 zeigt den Adapter im vertikalen Schnitte. Hier ist s ein Spiegelchen, das an Stelle des rasch umlaufenden Zeigers schief zur Achse aufgesteckt ist. Über das Zifferblatt ist lichtdicht die cylindrische photographische Kamera C geschoben, in deren Rückwand eine rechteckige Öffnung entsprechend der Größe der zu erzeugenden Photogramme ausgeschnitten ist, und vor dieser befindet sich die Führung f zur Aufnahme der in Fig. 3 dargestellten Blechkassette. Das Objektiv der Kamera befindet sich bei σ, und darum hat die Rückwand der Kassetten eine Öffnung, welche von einem Dichtungsringe r umgeben ist und durch den Kassettenschieber abgeschlossen wird. Vor dem Objektiv befindet sich ein Fallverschluß in solcher Distanz, daß die Linse σ von der in dem Verschlusse befindlichen 1 mm großen Öffnung A durch Vermittelung des Spiegelchens s ein Bild in die Kassette entwirft. Der Fallverschluß, welcher durch die Säulen t getragen wird, muß möglichst genau so lange exponieren, als eine Umdrehung des Spiegelchens s dauert. Das aus zwei ineinander schiebbaren Teilen bestehende leicht abnehm-

bare Rohr R verhindert seitliches Eindringen von Licht in das Objektiv.

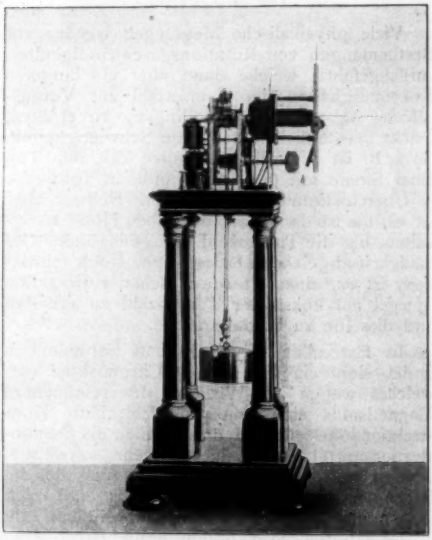


Fig. 1.

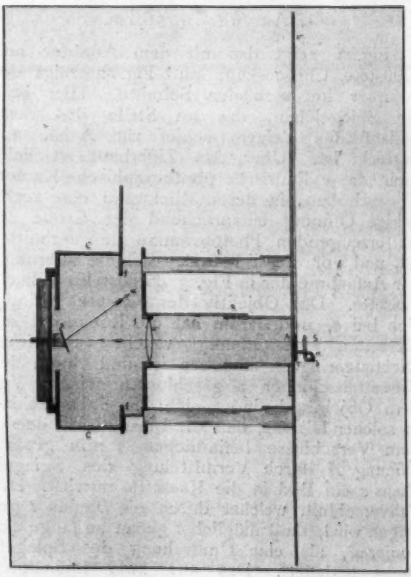


Fig. 2.

Fig. 3.

Die Aufnahmen werden auf Bromsilberpapier gemacht, welches nach einer Schablone, für die Kassetten passend, zugeschnitten und mit dem für den Ring r notwendigen Loche versehen wird. Vor der Entwickelung wird noch ein Zifferblatt einkopiert, wobei das Loch

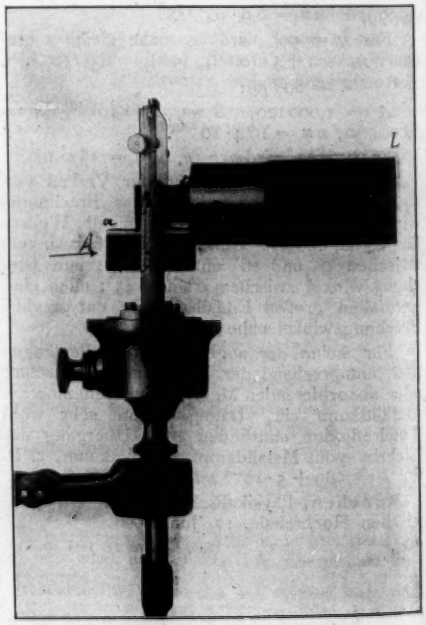


Fig. 4.

in dem Papiere zur Orientierung dient. Für Demonstrationen eignet sich ein abziehbares Papier, dessen Schichte später auf Glas übertragen ein Diapositiv liefert.

Fig. 4 stellt eine Cagniard la Toursche Sirene vor, welche mit einer Vorrichtung zur Tonhöhenbestimmung mit Hilfe des vorstehend beschriebenen Apparates ausgestattet ist. An der Achse der Sirene befindet sich eine rings mit 5 mm großen Löchern versehene Blechscheibe a. In der Richtung des Pfeiles wird schwach divergentes Licht einer Bogenlampe auf einen in k befindlichen unter 45^0 geneigten Spiegel s_1 geworfen, der das Licht nach oben reflektiert, worauf es nach Durchtritt durch eines der Löcher in a auf einen zweiten unter 45^0 geneigten Spiegel s_2 in k' fällt und von da horizontal reflektiert durch eine Linse bei L austritt. Die letztere entwirft das Bild eines in den Strahlengang tretenden Loches der Scheibe a auf die Öffnung A (Fig. 2) im Fallverschlusse.

Fig. 5 zeigt eine mit dieser Anordnung gemachte Aufnahme, wobei der Longitudinalton

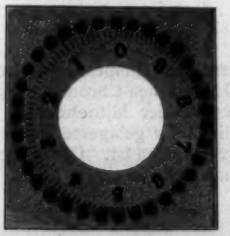


Fig. 5.

einer in der Mitte festgeklemmten 2 m langen Messingröhre von 1,2 cm Weite bestimmt wurde. Zur Auswertung eines Grades am Zifferblatte wurden 5 Umdrehungen des großen Zeigers des Hippschen Chronoskopes nach einer Stop-Uhr bestimmt und diese Messung fünfmal wiederholt. Als Mittelwert ergab sich für 1^0 des Zifferblattes 0,001012 sec. Auf den ganzen Umkreis entfallen 35 Marken, und die Scheibe a (Fig. 4) hatte 10, die Sirenenscheibe 25 Löcher. Es dauerten also 3,5 Touren der Sirene 0,1012 sec, und daher war die Schwingungszahl des Tones $n = 864{,}6$ Schwingungen pro sec. Zur Kontrolle wurden gleichzeitig in einer Glasröhre mittels des Messingrohres Kundtsche Figuren erzeugt. Die Wellenlänge ergab sich gleich 40 cm, und daraus folgt der ziemlich gut stimmende Wert für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles $c = 345{,}8$ m/sec.

Das mit dem Adapter versehene Hippsche Chronoskop gestattet auch Aufnahmen zu machen, an denen sich die Fallgesetze instruktiv demonstrieren lassen und aus denen sich ohne Schwierigkeit die Beschleunigung des freien Falles mit einer bei Vorlesungsversuchen selten erreichbaren Genauigkeit berechnen läßt. Speziell zu diesem Zwecke muß der Fallverschluß die aus Fig. 2 und 6 ersichtliche Form und Art der Auslösung erhalten.

Die aus 1 mm starkem Bleche hergestellte Fallplatte v, welche mit verschwindend geringer Reibung in ihrer Führung beweglich ist, enthält eine Reihe 2 mm voneinander abstehender, 1 mm großer Löcher λ (neben der noch zur besonderen Markierung eine Millimeterteilung angebracht sein kann). Die Länge dieser Reihe ist so bemessen, daß während des Falles vom ersten bis zum letzten Loche etwas weniger als eine ganze Umdrehung des Spiegelchens s (Fig. 2) erfolgt. An der Achse a mit dem randrierten Knopfe M befindet sich noch ein besonderes Verschlußplättchen S, welches bei aufgezogener Fallplatte v das erste sich mit A deckende Loch in der Reihe λ verschließt. Eine Spiralfeder P sucht die Achse so zu drehen, daß diese Öffnung freigegeben wird, und ein Stift am Knopfe M begrenzt

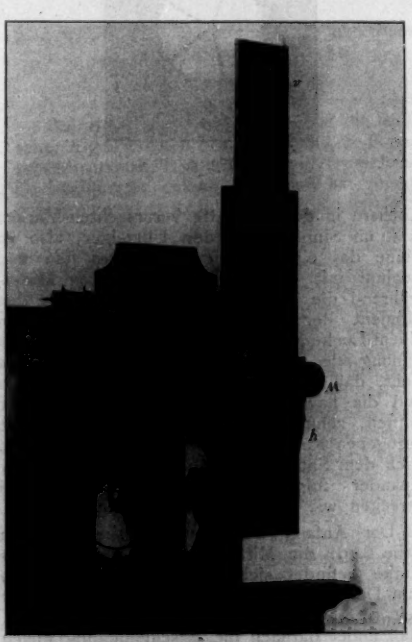


Fig. 6.

diese Bewegung auf etwa 90°. Außerdem greift am Knopfe M ein an dem Hebel h (derselbe ist deutlich in Fig. 1 zu sehen) befestigter Stift ein, welcher bei aufgezogener Fallplatte die Achse a und damit das Plättchen S in der in den Fig. 2 und 6 gezeichneten Lage erhält. Es wird dann v dadurch in der gehobenen Lage erhalten, daß ein Stift τ auf einer Verdickung der Achse a aufruht. Dreht sich diese aber um beiläufig 90°, so gleitet der Stift ab und es beginnen gleichzeitig der Fall der Platte v und die Exposition des ersten Loches in der Reihe λ. Da man beim Gebrauche dieser Anordnung eine Überfülle von Licht zur Verfügung hat, wenn man das Bild des Kraters der positiven Kohle eines Lichtbogens unmittelbar auf den Verschluß projiziert, so empfiehlt es sich, auf der Seite des Rohres R (Fig. 2) bei A eine beiläufig nur 0,1 mm große Blende anzubringen.

Auf diese Weise wurde die Aufnahme (Fig. 7) erhalten. Die Reihenfolge der von den einzelnen

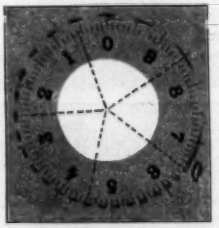


Fig. 7.

Löchern in der Fallplatte verursachten Marken läuft im Sinne gegen den Uhrzeiger, also im Sinne des einkopierten Zifferblattes, um und beginnt mit dem Anfange der ersten Marke, während die Mitten der übrigen Marken den Moment der genauen Koinzidenz zwischen einem Loche in der Fallplatte und der Blendenöffnung des Verschlusses bezeichnen. Man sieht, daß die nach dem Anfange der ersten und die nach den Mitten der zweiten, der fünften, zehnten und der siebzehnten Marke gezogenen Radien gleiche Winkel einschließen, nach dem Satze, daß sich die in gleichen aufeinander folgenden Zeitteilen durchfallenen Strecken wie die ungeraden Zahlen verhalten.

Der Anfang der ersten Marke ist beim Teile 64,9, die Mitte der vierundzwanzigsten Marke befindet sich bei 162,7. Es ist also zum Durchfallen einer Strecke von 4,8 cm die Zeit $97{,}8 \times 0{,}001012$ sec gebraucht worden. Man findet darnach die Beschleunigung gleich 980 cm.

2. Ausführungsform.

Die beschriebene erste Ausführungsform hat den Vorteil, daß die ganze Peripherie des Zifferblattes ohne Störung ausgenützt wird, was in Fällen, wo nur wenige Marken erhalten werden können und von diesen jedenfalls keine fehlen darf, von Belang ist. Dagegen hat sie den Nachteil, daß bei besonders raschen Rotationen (z. B. eines Foucaultschen Spiegels bei über 1000 Touren in der Sekunde) die Expositionen zu kurz ausfallen oder die einzelnen Marken zur Überdeckung gelangen und ein kontinuierlicher dunkler Ring entsteht. Dies wird vermieden bei der durch Fig. 8 dargestellten zweiten Aus-

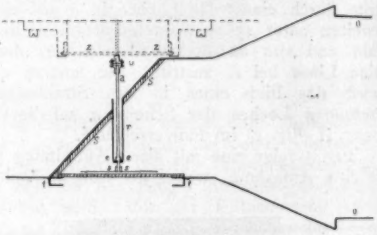


Fig. 8.

führungsform des Adapters. Z ist das Zifferblatt des Hippschen Chronoskopes. An Stelle des Zeigers ist der Mitnehmer u aufgesteckt, wodurch die bei e gelagerte Achse a mit dem Uhrwerke verbunden ist. Die letztere trägt bei s eine dünne Scheibe (Fig. 9), aus welcher das

Fig. 9.

in der letzteren Figur schraffierte Dreieck ausgeschnitten ist.

Die in Fig. 8 stark ausgezogene Kontur bedeutet ein innen geschwärztes Blechgehäuse, in dem ein gegen die Achse a unter 45° geneigter Glasspiegel s untergebracht ist. Bei f ist eine Öffnung entsprechend der Größe der Kassetten ausgeschnitten. Vor ihr befinden sich die Führungen zur Aufnahme der Kassetten, welche bei dieser Form des Adapters keine Öffnung in der Rückwand haben. B ist eine Glasplatte, auf der sich eine die Scheibe s umgebende gelb gefärbte Teilung, enthaltend 100 in das Glas eingeätzte und geschwärzte Teilstriche, befindet.

Der Foucaultsche Spiegel wird mit einer ebensolchen Anordnung, wie sie oben für die

Fig. 10.

Sirene beschrieben wurde, versehen; nur erhält wegen der großen Tourenzahl die mit dem Spiegel rotierende Blende nur eine Öffnung. Der größeren Empfindlichkeit wegen, und da eine Durchlochung hier nicht notwendig ist, werden die Aufnahmen auf Platten gemacht. Die mit dem Adapter versehene Uhr und der rotierende Spiegel werden einander so gegenüber gestellt, daß das von dem letzteren kommende schwach divergierende Licht, durch O eintretend, den ganzen Spiegel s beleuchtet. Intermittiert das Licht und rotiert die Scheibe s, so erhält man bei einer Expositionsdauer gleich der Umdrehungszeit der Scheibe s eine sternförmige Figur (Fig. 10), deren Zacken die verlangten Marken sind und in Fig. 10 eine Tourenzahl

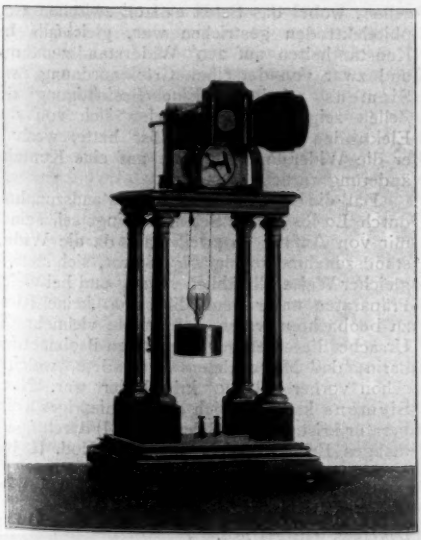


Fig. 11.

von 630 in der Sekunde bezeichnen.[1]) Es ist nicht zu vermeiden, daß bei dieser Ausführungsform infolge des Schattens von r ein Teil der Teilung unbenützt bleibt. Wenn viele Marken erzeugt werden, wie bei der Aufnahme der Tourenzahl einer Sirene oder eines Foucaultschen Spiegels, schadet das nicht. Sind aber nur wenige Marken zu erwarten, ist z. B. eine Zeitdauer bloß durch eine Anfangs- und eine Endmarke zu bestimmen, dann kann eine derselben zufällig an die Stelle des Schattens von r fallen und die Aufnahme unbrauchbar machen.

Fig. 11 zeigt die Gesamtansicht des mit dem Adapter nach der zweiten Ausführungsform versehenen Hippschen Chronoskops.

1) Übersteigt die Intermittenz des Lichtes 1000 Perioden in der Sekunde, so decken sich zwar die Zacken; jedoch erscheinen die Stellen, an denen die Deckung erfolgt, dunkler. Wenn daher der äußerste Stern das Abzählen nicht mehr zuläßt, so gestattet dies der nächste innere. Die verschiedene Dunkelheit der einzelnen Zacken ist eine Folge des unruhigen Brennens des Lichtbogens. Man sieht bei dieser Gelegenheit, daß die beschriebene Anordnung auch zur Analyse des Lichtbogens verwendbar ist.

Phys. Institut der k. k. deutschen techn. Hochschule in Prag, 6. Juli 1908.

(Eingegangen 7. Juli 1908.)

Einfluß der Feuchtigkeit auf die elektrischen Eigenschaften des Selens.

Von Chr. Ries.

Bei den Untersuchungen über die elektrischen Eigenschaften des Selens sind die Forscher schon wiederholt zu direkt widersprechenden Beobachtungen gelangt und man hat versucht, entgegengesetzte Resultate durch Konstruktionsfehler, Verunreinigungen des Selens, experimentelle Irrtümer usw. zu erklären. Durch umfangreiche Versuche ist es mir gelungen, alle von den Physikern bis jetzt beobachteten Erscheinungen im Selen hervorzurufen und allgemein gültige Gesetze aufzustellen. Widerstand und Lichtempfindlichkeit des Selens sind vollständig abhängig von der Art des Erhitzungsprozesses und von der Feuchtigkeit des Selens bezw. der Luftfeuchtigkeit, während alle übrigen Umstände nur eine ganz untergeordnete Bedeutung haben. Daß die Feuchtigkeit auf Widerstand und Empfindlichkeit in vielen Fällen einen ganz bedeutenden Einfluß ausübt, wird meine Arbeit hinreichend beweisen. Was den Erhitzungsprozeß betrifft, so ist dabei besonders zu achten auf einen gleichmäßigen Gang der Erhitzung (keine Unterbrechung), auf die Höhe der Erhitzungstemperatur, die Dauer der Erwärmung, das Vorzeichen der Erhitzung, die Dauer der Abkühlung und die Atmosphäre.

Auch ist es mir gelungen, einige Erscheinungen, insbesondere die scheinbare negative Lichtempfindlichkeit des Selens, vollständig aufzuklären.

Zu den Präparaten verwendete ich nur chemisch reines Selen von Merck in Darmstadt, dessen Reinheit von mehreren Physikern, z. B. Uljanin und Marc, besonders hervorgehoben wird. Dasselbe wurde noch nach Vorschrift gereinigt und getrocknet. Ich kann das günstige Urteil über das Mercksche Präparat nur bestätigen.

Um Bildung von Seleniden auszuschließen, verwendete ich nach Berndt nur Elektroden aus Kohle. Die Präparate wurden teils als Selenzellen, teils in Form von dünnen Selenscheibchen hergestellt. Im ersten Falle wurden in Schieferplatten parallel zueinander in geringem Abstande Vertiefungen geritzt, in diese dünne Kohlenfäden gelegt und der Zwischenraum mit Selen ausgefüllt, im letzteren Falle wurden die Selenscheibchen zwischen Kohlenelektroden festgepreßt, wobei auf gleichmäßigen Druck besonders zu achten war.

Zur Erwärmung benutzte ich ein Luftbad. In einem Metallzylinder war in horizontaler Lage ein dickes Kupferblech zur Aufnahme der Präparate aufgehängt. An zwei gegenüberliegenden Stellen desselben waren Thermometer angebracht, welche so lange verschoben wurden, bis sie 217° anzeigten, wenn ein auf dem Kupferblech liegendes kristallinisches Stück Selen schmolz. Die Thermometer gaben nun die genaue Temperatur der auf dem Kupferblech liegenden Präparate an. Die Erwärmung des Zylinders erfolgte durch mehrere kleinere Flammen recht langsam und gleichmäßig. Die Herstellung geschah stets im verdunkelten Zimmer.

Zur Beleuchtung diente eine schwächere, konstante Lichtquelle, deren Wärmestrahlen nach Möglichkeit ausgeschlossen waren. Übrigens wurde in allen Fällen die Wärmewirkung besonders festgestellt. Sämtliche Versuche beziehen sich auf gleiche Beleuchtung.

Als elektrischen Meßapparat verwendete ich ein Deprez-d'Arsonval-Galvanometer der Firma Siemens & Halske. Der Ausschlag von einem Skalenteil bei 3 m Abstand zwischen Spiegel und Skala entsprach $= 2{,}8 \cdot 10^{-10}$ Amp. Der innere Widerstand des Galvanometers war durch einen herausnehmbaren Vorschaltwiderstand auf 10000 Ohm abgeglichen. Dem Instrumente war ein Nebenschluß beigegeben, welcher es ermöglichte, die Empfindlichkeit auf $\frac{1}{2}, \frac{1}{5}, \frac{1}{10}, \frac{1}{20}, \frac{1}{50} \ldots \frac{1}{10000}$ herabzumindern. Als Stromquelle benutzte ich einen Akkumulator von 2 Volt.

Ehe ich auf den Hauptgegenstand dieser Untersuchungen, die Lichtempfindlichkeit, eingehe, will ich einige Versuche über den Temperaturkoeffizienten des Widerstandes des Selens vorausschicken.

I. Temperaturkoeffizient des Widerstandes des Selens.

Durch Versuche von Siemens[1]) und mir[2]) wurde nachgewiesen, daß der Widerstand einer Selenzelle, welche längere Zeit auf einer Temperatur über 200° konstant gehalten wird, allmählich bis zu einem Maximum zunimmt. Die Selenzellen waren aus käuflichem Selen und hatten Metallelektroden. Marc dagegen hat gefunden, daß der Widerstand des Selens unter den angegebenen Bedingungen beständig abnimmt, und zwar dauerte bei Temperaturen von 205°—215° die Widerstandsabnahme 12—24 Stunden lang an; bei einigen Präparaten änderte sich die Leitfähigkeit bereits nach 4—5 Stunden nicht mehr. In einigen Fällen aber hat Marc[3]) nach Erreichung der maximalen Leitfähigkeit noch eine geringe Zunahme des Widerstandes beobachtet. Seine Versuche wurden an chemisch reinem, gut getrocknetem Selen angestellt, welches bei 140° kristallisiert, dann gepulvert, in Pastillen gepreßt und zwischen Graphitplatten eingeklemmt wurde. Dagegen hat er bei Versuchen mit SeO_2-haltigen Selenzellen, wobei das Selen einfach zwischen Graphitelektroden gestrichen war, gleichfalls bei Konstanthalten auf 210° Widerstandszunahme, und zwar von derselben Größenordnung, wie Siemens erhalten. Eine Besichtigung der Zellen zeigte, daß das Selen sich von den Elektroden teilweise losgelöst hatte, weshalb er die Widerstandszunahme auf eine Kontaktänderung zurückführt.

Daß die Ursache dieser Widerstandszunahme durch Loslösen des Selens bedingt sei, schien mir von Anfang an zweifelhaft, da die Widerstandszunahme regelmäßig eintrat, sich stets in gleicher Weise allmählich vollzog und bei vielen Präparaten unter dem Mikroskop keine Risse zu beobachten waren. Ich suchte vielmehr die Ursache dieser entgegengesetzten Beobachtung darin, daß Marc Selen verwendete, welches schon vorher bei 140° kristallisiert war. Nach Siemens kann nämlich das bei niedriger Temperatur kristallisierte Selen (Mod. I) durch nochmaliges Erhitzen nicht mehr in Mod. II mit

1) Siemens, Pogg. Ann. **159**, 117, 1876 und Wied. Ann. **2**, 521, 1877.

2) Ries, „Das elektr. Verhalten des krist. Seelens etc." Doktordiss. Erlangen 1902.

3) Marc, „Die phys.-chem. Eigenschaften des Selens." Voß, Hamburg 1907.

positivem Temperaturkoeffizienten des Widerstandes übergeführt werden. Auch nach Schrott[1]) wird das Auftreten des positiven Temperaturkoeffizienten des Widerstandes schon durch eine kleine Diskontinuität des Erwärmungsprozesses verhindert; erst durch langandauerndes, wiederholtes Erhitzen gelingt es, Mod. I in Mod. II überzuführen. Nach diesen Beobachtungen von Siemens und Schrott lag die Vermutung nahe, daß Selen, das bei 140° vorher in die kristallinische Modifikation (Mod. I) übergeführt wurde, vielleicht bei Konstanthalten auf Temperaturen über 200° die von Siemens und mir an amorphem Selen beobachtete Widerstandszunahme nicht mehr zeigt oder höchstens nach längerer Erhitzung. Und in der Tat hat Marc nach längerer Erhitzung auch wiederholt eine Widerstandszunahme der Präparate beobachtet. Es schien mir daher nötig, die Marcschen Versuche mit chemisch reinem Material und Kohlenelektroden unter Anwendung von amorphem Selen zu wiederholen.

Ich stellte mir ein dünnes Plättchen aus amorphem Selen her, das beiderseits gut abgeschliffen wurde, um einen möglichst festen Kontakt mit zwei als Elektroden dienenden Kohlenplatten zu erhalten. Dieses Plättchen wurde auf die eine Kohlenelektrode im Heizofen aufgelegt, während die andere Elektrode in geringem Abstande gegenüberstand. Nun wurde recht langsam erhitzt und erst bei einer Temperatur von ca. 180° die andere Elektrode auf das nun kristallinische Selenplättchen aufgedrückt. Der Druck, mit dem diese Elektrode auf dem Präparat ruhte, war stets gleichmäßig und brachte keine Schwankungen in der Leitfähigkeit hervor, wie durch Vorversuche ermittelt wurde. Die zweite Elektrode früher zu senken, war nicht angängig, da das Selen bekanntlich bei der Erwärmung auf 80—90° erweicht und dadurch eine Deformation des Präparates verursacht worden wäre. Dagegen war bei der langsamen Erhitzung bis 180° die vollständige Kristallisation garantiert. Die Untersuchung ergab, daß die Leitfähigkeit bei Konstanthalten auf 205° beständig zunahm; nach $1^1/_2$ Stunde wurde der Versuch abgebrochen. Dadurch hat sich die von Marc unter seinen Versuchsbedingungen gemachte Beobachtung auch bei Anwendung von amorphem Selen bestätigt. Es schien mir aber noch nötig zu untersuchen, inwiefern sich die Leitfähigkeitszunahme bei Anwendung von amorphem und kristallinischem Selen unterscheidet und ob die von Siemens und mir früher beobachtete Leitfähigkeitsabnahme wirklich auf einer Kontaktänderung beruht.

1) Schrott, Ber. d. Wiener Akad. Juli 1906.

Ich stellte zunächst drei Selenzellen aus recht trockenem Material her, bei denen das Selen zwischen zwei Kohlenfäden eingeschmolzen war; dieselben zeigten bei Konstanthalten auf 205° beständige Leitfähigkeitszunahme wie in dem oben beschriebenen Versuch. Die von Siemens und mir erhaltene Leitfähigkeitsabnahme kann demnach nicht auf einer Kontaktänderung beruhen; sie hätte bei diesen Präparaten sicherlich auch auftreten müssen.

Eine Selenzelle mit Metallelektroden und käuflichem Selen, die früher schon zu Messungen gedient hatte, wurde wiederholt teils bis 210° erhitzt und rasch gekühlt, teils über den Schmelzpunkt erwärmt und rasch gekühlt. Ich mache hier besonders auf die äußerst rasche Kühlung aufmerksam, denn ich werde im II. Abschnitt beweisen, daß die recht rasch gekühlten Präparate keine Feuchtigkeit in sich aufnehmen. Durch dieses Verfahren sollte erreicht werden, daß das Präparat seine Feuchtigkeit allmählich abgibt. Dieses wiederholt erhitzte und gekühlte Präparat zeigte bei nochmaligem Erwärmen auf 205° und Konstanthalten der Temperatur beständige Zunahme der Leitfähigkeit. Das Verhalten der Zelle erklärt sich sicherlich daraus, daß das Präparat keine Feuchtigkeit besaß. Als nämlich dieselbe Zelle mit etwas Schwefelsäure versetzt und auf 205° konstant gehalten wurde, zeigte sie Leitfähigkeitsabnahme, was auf eine Verdampfung der Säure zurückzuführen ist.

Ich möchte hier auf Versuche von Bidwell und Marc verweisen, durch die erwiesen ist, daß manche Selenpräparate bei Erhitzung zwischen 110 und 130° einen positiven Temperaturkoeffizienten des Widerstandes und bei Konstanthalten innerhalb dieses Temperaturbereiches eine Widerstandszunahme zeigen. Diese Erscheinung ist von beiden einer Verdampfung von Feuchtigkeit zugeschrieben worden. Tatsächlich hat auch Schrott bei seinen Versuchen an Selen, das durch längeres Stehenlassen in Chinolin kristallinisch gemacht worden war, innerhalb desselben Temperaturbereiches einen positiven Temperaturkoeffizienten des Widerstandes beobachtet, was mit der Erklärung von Bidwell und Marc recht gut übereinstimmt.

Auf Grund der von mir oben angeführten Versuche darf man wohl mit Recht behaupten, daß auch die bei Konstanthalten auf Temperaturen über 200° beobachtete Widerstandszunahme auf einer Verdampfung beruht und der Feuchtigkeit zuzuschreiben ist. Diese Verdampfung würde dann immer zugleich mit der Wärmeabgabe des Selens vor sich gehen. Betrachtet man nämlich die Marcschen Kurven über die Wärmetönungen, so sieht man je ein Maximum bei 100—130° und bei 200—210°,

also gerade bei jenen Temperaturen, bei denen die Verdampfung stattfindet. Es ist daher mit Sicherheit anzunehmen, daß in den von Siemens und von mir ausgeführten Versuchen das Selen nicht trocken genug war.

Um zu untersuchen, inwiefern sich die Leitfähigkeitszunahme eines amorphen und eines vorher kristallisierten Selenpräparates bei Konstanthalten auf einer bestimmten Temperatur unterscheidet, habe ich zwei Versuche ausgeführt. Es wurden möglichst gleiche Präparate hergestellt und das eine davon bei 140° kristallisiert, während das andere in amorphem Zustande blieb. Diese wurden miteinander im Heizofen langsam erhitzt und $^3/_4$ Stunde auf 186° gehalten; zwei andere Präparate wurden 1 Stunde auf 210° erwärmt. In beiden Fällen war die Leitfähigkeit bei den vorher kristallisierten Präparaten größer als bei den amorphen, wie ich nach den Gesetzen von Siemens und Schrott erwartete. Nähere Angaben über diese Versuche enthalten Tabelle I und Fig. 1. Die Messungen geschahen abwechslungsweise.

Tabelle I.

Erhitzung auf 186°				Erhitzung auf 210°			
I. amorphes		II. kristall.		I'. amorphes		II'. kristall.	
Zeit	Leitfäh.	Zeit	Leitfäh.	Zeit	Leitfäh.	Zeit	Leitfäh.
8^{43} h	87	8^{41} h	86	9^{42} h	120	9^{45} h	125
8^{45} h	91	8^{51} h	104	9^{55} h	124	10^{6} h	137
8^{59} h	106	8^{56} h	110	10^{15} h	129	10^{23} h	145
9^{06} h	113	9^{10} h	125	10^{43} h	134	10^{42} h	149
9^{14} h	117	9^{15} h	128				

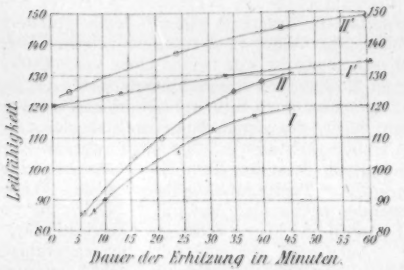


Fig. 1.

Schließlich möchte ich noch auf ein bereits vor 7 Jahren konstruiertes Präparat aufmerksam machen, welches reich an Wendepunkten ist. Es besitzt innerhalb des Temperaturbereiches von −25 und +200° vier Wendepunkte, dreimal negativen und zweimal positiven Temperaturkoeffizienten des Widerstandes, wie aus Tabelle II und Fig. 2 ersichtlich ist.

Tabelle II.

Temperatur	−20°	+23°	+100°	142°	155°	170°	190°
Leitfähigkeit	500	110	2000	3000	2800	2200	2900

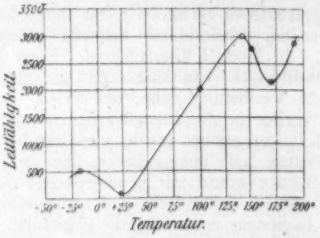


Fig. 2.

II. Lichtempfindlichkeit und Widerstand des Selens.

In der Einleitung zu dieser Arbeit habe ich schon hervorgehoben, daß die verschiedenartigen Erscheinungen bezüglich der Lichtempfindlichkeit und des Widerstandes bedingt sind durch die Art des Erhitzungsprozesses und die Feuchtigkeit. Wir werden sehen, daß man je nach dem Erhitzungsprozeß Selenpräparate herstellen kann, die sich gegen die Luftfeuchtigkeit direkt entgegengesetzt verhalten. Während die einen außerordentlich hygroskopisch sind, erweisen sich die anderen gegen die Luftfeuchtigkeit unempfindlich. Auf diesem Feuchtigkeitsgehalt beruhen auch die verschiedenartigen Beobachtungen über Lichtempfindlichkeit und Widerstand.

Aus meinen Resultaten erklärt sich auch, warum über die Frage, ob Selen hygroskopisch sei oder nicht, entgegengesetzte Ansichten herrschen. Während Ruhmer seine Zellen in hochevakuierte Glasröhren einschmilzt — ein Verfahren, welches O. v. Bronk[1]) zuerst 1898 angewendet hat —, weil die Luftfeuchtigkeit auf das Selen einwirke, erbringt Giltay[2]) bezw. v. Ruyven den experimentellen Nachweis, daß das Selen nicht hygroskopisch sei.

Um all diese Fragen entscheiden zu können, war es natürlich notwendig, äußerst umfangreiche Untersuchungen anzustellen. Ich habe alle meine Zellen in gleicher Weise konstruiert, aber 6 verschiedene Erhitzungsmethoden angewendet.

a) Gleichmäßige Erhitzung des amorphen Selens von der Zimmertemperatur bis kurz vor den Schmelzpunkt (über 200°), längeres Konstanthalten der Endtemperatur und äußerst langsame Abkühlung (ca. 1 Stunde von 200° bis zur Zimmertemperatur).

1) Bronk, diese Zeitschr. **7**, 281, 431, 1906.
2) Giltay, Elektrotechn. Zeitschr. **26**, 313, 1905.

b) Die gleiche Erhitzung wie in a), aber äußerst rasche Abkühlung durch Eintauchen in ein kaltes Bad oder Durchsaugen eines kalten Luftstromes.

c) Gleichmäßige Erhitzung auf Temperaturen unter 200°, längeres Konstanthalten auf der Endtemperatur und recht langsame Abkühlung.

d) Erhitzung wie in c), aber recht rasche Abkühlung.

e) Geschmolzenes Selen wird ca. 4 Stunden konstant auf 200° gehalten, bis es kristallisiert ist, und äußerst langsam gekühlt.

f) Kristallisationsprozeß wie in e), aber äußerst rasche Kühlung.

Diese 6 Methoden lieferten mir Zellen, an denen ich alle bis jetzt bekannten Erscheinungen beobachten konnte. Ich will meine Versuche der Reihe nach angeben und bemerke nochmals, daß nur reines, trockenes Selen und Kohlenelektroden zur Verwendung kamen.

a)

Eine amorphe Zelle wurde langsam erwärmt, 1 Stunde auf 205° gehalten und 1 Stunde langsam abgekühlt. ½ Stunde nach der Herstellung geprüft, zeigte die Zelle hohe Lichtempfindlichkeit, d. h. Abnahme des Widerstandes bei Belichtung. Da die Leitfähigkeit sofort ihr Maximum annahm und dann Stillstand einzutreten schien, wurde schon nach 8 Sekunden abgedunkelt. Der Widerstand ging sofort ohne die geringste Trägheit auf den Dunkelwert zurück. Ich glaubte, eine Idealzelle konstruiert zu haben. Aber schon am folgenden Tage mußte ich sehen, welch große Veränderung mit dieser Zelle vorgegangen war.

Einen Tag nach der Herstellung wurde die Zelle einer längeren Belichtung ausgesetzt. Schon der momentane Effekt war geringer als am Tage vorher und bei längerer Belichtung zeigte das Präparat die von Siemens zuerst beschriebene sogenannte Ermüdung. Die Lichtempfindlichkeit nahm erst rasch, dann langsamer ab, war nach 6 Minuten um 66 Proz. gefallen und blieb dann konstant. Bei der Abdunkelung sank die Leitfähigkeit sofort unter die Dunkelleitfähigkeit herab, erfuhr während der ersten Minute noch ein weiteres langsames Sinken und stieg dann geradlinig zur früheren Dunkelleitfähigkeit an. Die Zelle zeigte also die sogenannte Lichtempfindlichkeit II. Art. Erwärmung hatte Leitfähigkeitszunahme zur Folge, kann also nicht die Ursache dieser Erscheinung gewesen sein. Über die Leitfähigkeitsveränderungen siehe Tabelle III und Fig. 3.

Sechs Tage nach der Herstellung wurde die Zelle wieder geprüft. Ihr Widerstand war inzwischen bedeutend gefallen und es war zu erwarten, daß die Zelle eine weitere Veränderung erlitten. Sie wurde daher wieder einer längeren Belichtung ausgesetzt. Mit dem Auffallen der Lichtstrahlen erfuhr die Leitfähigkeit eine Vergrößerung, doch war der Effekt wiederum gegen das letztemal gefallen. Diese Leitfähigkeitszunahme war aber nur momentan; schon nach 25 Sekunden sank die Leitfähigkeit unter die Dunkelleitfähigkeit herab und nach 5 Minuten war sie um 76 Proz. der letzteren gefallen. Das Element zeigte also Leitfähigkeitsabnahme bei Belichtung, Erwärmung hatte Leitfähigkeitszunahme zur Folge. Beim Abdunkeln fiel die Leitfähigkeit momentan noch, um dann langsam geradlinig anzusteigen. Vgl. Tabelle IV und Fig. 4.

Tabelle III.

Min.	Leitfähigkeit	
	belichtet	abgedunkelt
0	73	102
1/6	160	55
1	130	49
2	115	51
3	110,5	53
4	108	55
5	105	58
6	103	60
9	102	—
12	102	73

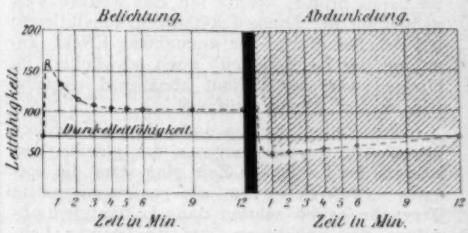


Fig. 3.

Tabelle IV.

Min.	Leitfähigkeit	
	belichtet	abgedunkelt
0	140	36
1/6	185	21
1	133	
1/2	84	28
1 1/2	63	
2	55	35
3	43	39
4	39	43
5	36	47

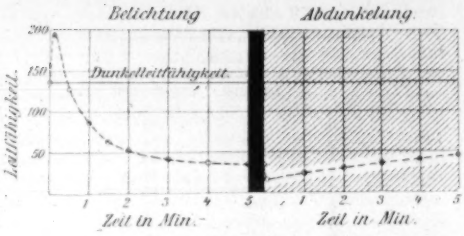


Fig. 4.

Als ich die Zelle nach mehreren Tagen nochmals prüfte, konnte ich eine weitere Vergrößerung der Dunkelleitfähigkeit konstatieren; bei Belichtung war der momentane Effekt (Zunahme der Leitfähigkeit) noch schwächer, im übrigen war der Verlauf annähernd derselbe wie bei der letzten Prüfung.

Alle Zellen, welche nach diesem Verfahren konstruiert wurden, zeigten das gleiche Verhalten. Im Laufe der Zeit ging stets die normale Lichtwirkung in die entgegengesetzte über; die Zellen zeigten dann Leitfähigkeitsabnahme bei Belichtung, bei Erwärmung Leitfähigkeitszunahme.

Mein Entschluß, Kurven zu zeichnen über die allmähliche Zunahme der Dunkelfähigkeit und die scheinbare Empfindlichkeitsabnahme mit der Zeit, hat mich auf die Ursache dieser Erscheinungen geführt. Es ist mir gelungen nachzuweisen, daß die allmähliche Leitfähigkeitszunahme auf einer allmählichen Feuchtigkeitsaufnahme des Selens beruht und daß die scheinbare negative Lichtempfindlichkeit bezw. Leitfähigkeitsabnahme bei Belichtung ebenfalls der Feuchtigkeit zuzuschreiben ist. Die folgenden Versuche werden meine Behauptung genügend beweisen.

All diese Präparate haben die unangenehme Eigenschaft, daß ihre Leitfähigkeit gleich nach dem Einschalten der Stromquelle nicht konstant erscheint; dieselbe hat erst einen verhältnismäßig hohen Wert, der anfangs rasch, dann langsamer abnimmt; erst nach 5—10 Minuten wird annähernd ein Minimum erreicht. Man hat daher bei den Versuchen mit diesen Präparaten erst abzuwarten, bis der Ausschlag einen konstanten Wert hat. Aus Tabelle V und Fig. 5 ersieht man, daß die scheinbare Leitfähigkeitsabnahme eines Präparates innerhalb 15 Minuten 38 Proz. bezw. 63 Skalenteile betrug, was ich auf Polarisation zurückführte. Diese Vermutung bestätigte auch der Versuch. Denn als ich den Akkumulator ausschaltete, erhielt ich einen Ausschlag von ca. 60 Skalenteilen in entgegengesetzter Richtung, welcher allmählich gegen Null abnahm.

Tabelle V.

Minuten	0	½	1	2	3	4	5	10	15
Leitfähigkeit	165	145	137	125	120	115	111,5	105	102

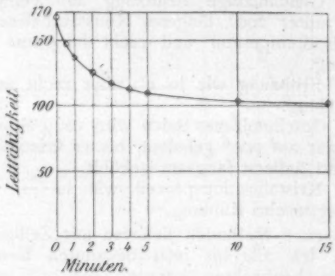


Fig. 5.

Mein Versuch, eine Kurve für die allmähliche Leitfähigkeitszunahme mit der Zeit zu konstruieren, scheiterte an den stets auftretenden Polarisationsströmen, welche eine Abnahme des Hauptstromes bewirken. So zeigt ein Präparat, durch das der Strom längere Zeit geflossen, infolge der Polarisation am nächsten Tag eher eine Leitfähigkeitsabnahme, und bei täglicher Prüfung treten große Unregelmäßigkeiten auf. Prüft man aber das Präparat nur alle 8 Tage einen Moment, so beobachtet man die beständige Leitfähigkeitszunahme.

Vier Präparate wurden miteinander hergestellt; zwei davon brachte ich gleich nach der Abkühlung in recht klares Öl, die zwei anderen wurden im Freien aufbewahrt und tags darauf geprüft. Die beiden ersten verhielten sich, als sie nach mehreren Tagen einer zweiten Prüfung unterzogen wurden, ganz normal, während die beiden anderen eine Zunahme der Dunkelleitfähigkeit, hohe Polarisation und negative Lichtempfindlichkeit zeigten, was sicherlich nur dem Einfluß der Feuchtigkeit zuzuschreiben ist.

Ein Präparat wurde im Dunkeln geprüft und gewartet, bis der Ausschlag konstant war. Nun brachte ich dasselbe in feuchte Luft, deren Temperatur gleich der Zimmertemperatur war. Die Leitfähigkeit wuchs in einigen Minuten auf den 4fachen Wert; Erwärmung war hier ausgeschlossen, da eine Erwärmung um mindestens 40^0 nötig gewesen wäre, um diesen Effekt hervorzubringen. Als ich das Präparat aus dem feuchten Raum herausnahm, ging die Leitfähigkeit nicht bloß zurück, sondern sank tief unter den früheren Wert, was wohl zum Teil auf Vergrößerung der Polarisation infolge der Leitfähigkeitserhöhung zurückzuführen ist. Das Selenpräparat a) ist demnach hygroskopisch. Die Leitfähigkeitserhöhung beruht nicht auf einer etwa an der Selenfläche haftenden Feuchtigkeit;

denn ich werde beweisen, daß Zellen, die auf andere Weise hergestellt werden, unter gleichen Umständen nicht im geringsten beeinflußt werden.

Von den hygroskopischen Eigenschaften dieses Selenpräparates a) habe ich mich auch durch einen einfachen Versuch überzeugt. Ich stellte ein Glas, das zur Hälfte mit Wasser gefüllt und zugedeckt war, einen Tag in dem Zimmer auf, in welchem das Präparat aufgehängt war. Dann näherte ich das Glas von unten der Zelle, bis sie im oberen Teil des Glases sich befand. Die Leitfähigkeit stieg in ca. 4 Minuten von 100 auf 250, und als ich das Glas wieder entfernte, fiel sie unter 100. Ließ ich das Präparat wenige Stunden über Wasser, so nahm die Leitfähigkeit vorübergehend den 10fachen Wert an.

Ein Präparat besaß im Dunkeln keine E.M.K. Als ich einen Strom $^1/_4$ Stunde lang hindurchsandte, erhielt ich einen starken Polarisationsstrom. Bei Belichtung vergrößerte sich der Ausschlag momentan, ging rasch zurück und sank weit unter den im Dunkeln gemessenen Wert. Bei Abdunkelung trat momentan ein weiteres Sinken und dann eine kleine Zunahme des Ausschlages ein. Ich habe mich durch Versuche, bei denen auch der allmähliche Rückgang des Polarisationsstromes in Rechnung gezogen wurde, hinreichend überzeugt, daß das Licht auf den Polarisationsstrom denselben Einfluß ausübt wie auf den Hauptstrom.

Als Beweis für meine Behauptung, daß die anormalen Vorgänge im Selenpräparat a) ihre Ursache in der Feuchtigkeit haben, muß auch folgende Tatsache angesehen werden. Nach jeder Belichtung kann man einen Rückgang der Dunkelleitfähigkeit bezw. des ursprünglichen Ausschlages beobachten. Dieses Sinken erzielt man aber auch durch Erhöhung der Leitfähigkeit mittels feuchter Luft oder durch Vergrößerung der Stromstärke. Die Wirkung ist also nicht den Lichtstrahlen zuzuschreiben.

Schließlich möchte ich noch darauf hinweisen, daß die Kurven für die Leitfähigkeitsveränderung bei Belichtung recht gut übereinstimmen mit den Kurven für den Photoeffekt in galvanischen Zellen (vgl. meine Diss. S. 30 bis 31). Daß der allmähliche Rückgang des Photoeffektes und die Veränderung des ursprünglichen Stromes auf Polarisation beruht, habe ich damals hinreichend begründet.

Die nach dem Verfahren a) hergestellten Präparate haben die Eigenschaft, daß sie allmählich Feuchtigkeit in sich aufnehmen, wodurch ihre Leitfähigkeit bis zu einem Maximum anwächst. Mit der Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes steigern sich natürlich auch die anormalen Vorgänge. Unter dem Einfluß des Lichtes wächst der Hauptstrom, der Polarisationsstrom erfährt aber eine zweifache Zunahme, die erste infolge der Lichtwirkung, die zweite infolge der Vergrößerung des Hauptstromes; durch die entstehenden Polarisationsströme wird der Hauptstrom herabgedrückt, was zu einer scheinbaren Abnahme der Lichtempfindlichkeit führt. Betrachtet man die Kurven 3 und 4, so sieht man, daß mit der Abdunkelung ein sofortiger Rückgang des Ausschlages verbunden war. Diese Leitfähigkeitsabnahme bei der Verdunkelung ist in Prozenten ausgedrückt ungefähr von derselben Größenordnung wie die Leitfähigkeitszunahme bei Belichtung. Die negative Lichtempfindlichkeit bezw. die Leitfähigkeitsabnahme bei Belichtung ist daher nur eine scheinbare, indem die durch Feuchtigkeit verursachten Vorgänge (Polarisationserscheinungen usw.) die positive Lichtempfindlichkeit überdecken; erst bei der Abdunkelung kommt der Photoeffekt durch die sofortige Leitfähigkeitsabnahme momentan wieder zur Geltung. Ich glaube damit hinreichend bewiesen zu haben, daß die Feuchtigkeit die einzige Ursache dieser eigenartigen Erscheinungen im Präparate a) ist, ich werde aber gleich zeigen, daß die Polarisation allein zur Erklärung der Vorgänge nicht hinreicht.

Präparate, welche genügend Feuchtigkeit aufgenommen hatten und die geschilderten Eigenschaften besaßen, ließ ich einige Tage ausruhen und brachte sie dann in recht klares Öl. Nun zeigten sie zwar noch den Rückgang des Ausschlages nach Einschalten der Stromquelle und Polarisation, aber bei Belichtung niemals mehr eine Leitfähigkeitsabnahme; sondern ihre Leitfähigkeit stieg im Moment der Belichtung zu einem hohen Wert an, um nachher noch eine kleine Zunahme (Nachwirkung) oder auch eine kleine Abnahme (sogen. Ermüdung) zu zeigen. Auch durch Vergrößerung der Lichtintensität vermochte ich die frühere Erscheinung nicht mehr hervorzurufen. An dem Auftreten der sogenannten Ermüdung bezw. nur schwachen Nachwirkung erkannte man das Vorhandensein der Polarisationsströme. Es muß aber noch eine zweite Ursache der beschriebenen Erscheinung existieren, welche im Ölbad ausgeschlossen ist. Die Präparate sind im Ölbad von der Atmosphäre abgeschlossen, sie sind von einer schützenden Hülle umgeben und können keine Feuchtigkeit mehr aufnehmen, aber auch schwerlich abgeben. Wohl wird darin die Ursache zu suchen sein. Vielleicht findet in diesen Präparaten eine Verdampfung von Feuchtigkeit statt, welche sich infolge der Erwärmung durch den elektrischen Strom an der Stelle größter Stromdichte vollzieht und im Ölbad weniger

entwickeln kann. Die Versuche über diesen Punkt sind noch nicht abgeschlossen, Anwendung von evakuierten Röhren wird wohl Klarheit bringen. Tabelle VI und Fig. 6 zeigen uns das Verhalten desselben Präparates, auf das sich bereits die Fig. 3 und 4 beziehen, im Ölbad.

Tabelle VI.

Min.	Leitfähigkeit	
	belichtet	abgedunkelt
0	77	183
1/6	152	127
1	162	106
2	170	97
3	175	91
4	180	86
5	183	83

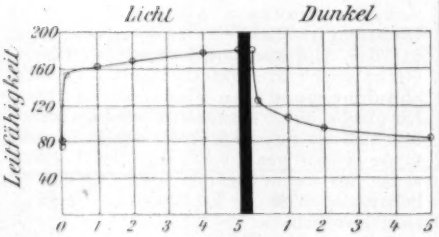


Fig. 6.

b)

Die nach dem Verfahren b) hergestellten Zellen erweisen sich unempfindlich gegen die Luftfeuchtigkeit, wenn man auf recht rasche Abkühlung besonders achtet. Bringt man die Zellen aus dem Ofen und läßt sie in der Luft allmählich erkalten, so zeigen sie schon Spuren von Feuchtigkeit.

Bei den langsam gekühlten Präparaten der Art a) fand, wenn sie 1/4 Stunde vom Strom durchflossen waren, eine Leitfähigkeitsabnahme um 40—50 Proz. statt und es entstand ein entsprechend großer Polarisationsstrom; bei den rasch gekühlten b) dagegen erhält man innerhalb derselben Zeit eine Abnahme von 0—5 Proz. und keinen oder höchstens einen schwachen Polarisationsstrom, der gegen den Photoeffekt nicht in Betracht kommt.

Ein recht langsam (a) und ein äußerst rasch (b) gekühltes Präparat brachte ich miteinander in feuchte Luft. Während bei dem ersteren der Ausschlag innerhalb 5 Minuten von 210 auf 370 stieg, konnte ich beim zweiten kein Steigen beobachten. Als ich das erste herausnahm, so fiel der Ausschlag unter 200, beim zweiten beobachtete ich einen Rückgang von 150 auf 148. Während das Präparat a) sehr hygroskopisch ist, zeigt sich das nach dem Verfahren b) hergestellte Selen gegen die Luftfeuchtigkeit fast vollständig unempfindlich und kaum polarisierbar. Man muß daher erwarten, daß an diesem auch keine sogen. Lichtempfindlichkeit II. Art auftreten kann. Diese Erwartung hat sich tatsächlich erfüllt, was eine neue Bestätigung dafür ist, daß die Feuchtigkeit die Ursache der beschriebenen anomalen Vorgänge ist.

Zellen, welche recht rasch gekühlt, nicht hygroskopisch und unpolarisierbar waren, zeigten bei längerer Belichtung erst rasche, dann langsame Leitfähigkeitszunahme, also die bekannte Nachwirkung; bei der Abkühlung ging ihre Leitfähigkeit erst rasch, dann langsam zurück (Trägheit). Die Zellen waren also normal. Vgl. Tabelle VII und Fig. 7.

Tabelle VII.

Min.	Leitfähigkeit.	
	Licht	Dunkel
0	87	312
1/6	200	220
1	221	188
2	236	163
3	250	150
6	281	123
9	301	
12	308	110
15	312	206

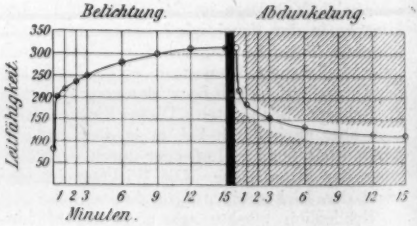


Fig. 7.

Zellen, welche ich aus dem Heizofen herausnahm und in der Luft sich abkühlen ließ, so daß sie geringe Mengen von Feuchtigkeit enthielten, stehen schon auf einer Übergangsstufe. Sie zeigen bei längerer Belichtung häufig die sogenannte Ermüdung; doch ist der Rückgang nicht bedeutend, dauert nur kurze Zeit an und es ist bald ein Minimum erreicht. Auch sinkt die Leitfähigkeit nach der Abdunkelung nicht wie bei dem Präparat a) unter die Dunkelleitfähigkeit herab. Nähere Angaben über einen Versuch dieser Art enthält Tabelle VIII und Fig. 8. Eine Veränderung dieser Präparate mit der Zeit konnte ich nicht beobachten.

Tabelle VIII.

Min.	Leitfähigkeit	
	Licht	Dunkel
0	110	310
1/6	340	185
1	334	169
2	324	160
3	318	155
4	315	151
5	313	149
8	311	
10	310	140

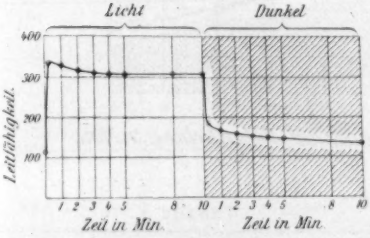


Fig. 8.

Durch Erhitzen auf 215° und rasche Abkühlung erhielt ich auch ein Präparat, dessen Leitfähigkeit bei Belichtung von 50 sofort auf 150 stieg und trotz einer Belichtung von 15 Minuten nicht die geringste Änderung erlitt. Bei Abdunkelung ging der Ausschlag aber nur auf 80 sofort zurück.

c)

Die Methode c) unterscheidet sich von a) nur dadurch, daß die Erhitzungstemperatur unter 200° bleibt. Die Zellen haben auch große Ähnlichkeit mit jenen, und zwar um so mehr, je höher die Erhitzungstemperatur gewählt wird. Die Präparate zeigen im Dunkeln allmähliche Leitfähigkeitszunahme mit der Zeit, reagieren auf feuchte Luft und sind polarisierbar. In vielen Fällen habe ich bei Belichtung noch die sogen. Ermüdung nachweisen können; sogar bei einem Präparat, dessen Erhitzungstemperatur nur 160° betrug, habe ich noch recht deutlich die Ermüdung und nach der Abdunkelung Sinken der Leitfähigkeit unter den Dunkelwert beobachtet (noch tiefere Erhitzungstemperaturen zu wählen, schien mir unnötig, da ja die Empfindlichkeit solcher Präparate nur schwach und von geringerem Interesse ist). Dagegen vermochte ich die Leitfähigkeitszunahme bei Belichtung in dieser Art von Zellen nicht mehr hervorzurufen. Man sieht also, daß der Feuchtigkeitsgehalt der Präparate mit der Erniedrigung der Erhitzungstemperatur abnimmt und die scheinbare Leitfähigkeitsabnahme bei Belichtung an hohe Erhitzungstemperatur gebunden ist.

Viele Zellen dieser Art zeigten indes die sogenannte Ermüdung überhaupt nicht, sondern verhielten sich normal. Ihr Dunkelwiderstand erlitt mit der Zeit keine Abnahme, bei Belichtung nahm er erst rasch, dann langsam ab. Doch unterscheiden sich diese Zellen etwas von den rasch gekühlten, worauf ich im folgenden Abschnitt zurückkomme.

d)

Alle Präparate, deren Erhitzungstemperatur unter 200° lag und deren Abkühlung recht rasch vor sich ging, waren normal; sie zeigten bei Belichtung die gewöhnliche Nachwirkung und bei Abdunkelung die bekannte Trägheit. Ein Vergleich der Präparate mit den (nach Methode c) langsam gekühlten ergab aber, daß bei diesen die Nachwirkung und Trägheit etwas geringer war als bei den rasch gekühlten. Die Ursache dieser Erscheinung ist sicherlich die Feuchtigkeit, da ja die feuchten Präparate im allgemeinen sich dadurch auszeichnen, daß sie das Maximum des Photoeffekts sofort erreichen, worauf ein scheinbarer Rückgang erfolgt.

Um Nachwirkung und Trägheit von Zellen der Art c) und d) vergleichen zu können, habe ich zwei Präparate möglichst gleich hergestellt und miteinander auf 175° mehrere Stunden erhitzt, hierauf das eine rasch, das andere langsam gekühlt. Tabelle IX und Fig. 9 gestatten einen Vergleich der beiden Zellen, und zwar bezieht sich I auf das langsam und II auf das rasch gekühlte Präparat. Übrigens war in mehreren Fällen der Unterschied viel auffälliger. Wenn ich in einer meiner früheren Arbeiten[1]) keinen besonderen Unterschied in der Trägheit bei den rasch und langsam gekühlten Präparaten beobachtet habe, so hat dies seinen Grund darin, daß ich damals nicht rasch und nicht langsam genug gekühlt habe; die Differenz in der Geschwindigkeit der Kühlung war zu gering.

Tabelle IX.

Min.	Leitfähigkeit des langsam gekühlten Präp. I		Leitfähigkeit des rasch gekühlten Präp. II	
	belichtet	abgedunkelt	belichtet	abgedunkelt
0	95	275	86	274
1/6	237	165	204	186
1	248	145	231	155
2	257	133	246	137
3	265	124	258	128
4	270	116	267	115
5	275	113	274	110

1) Ries, diese Zeitschr. 9, 164, 1908.

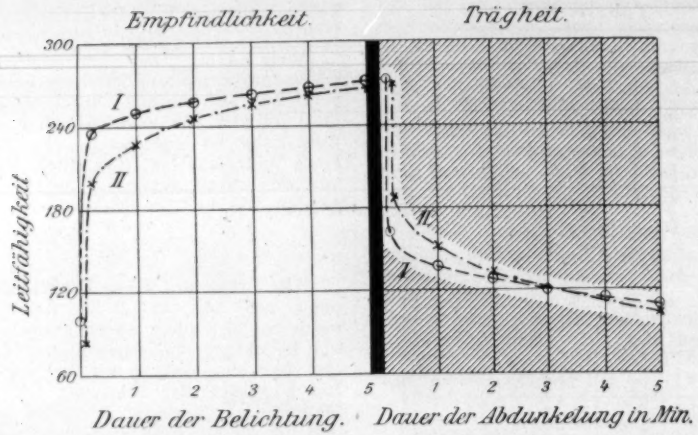


Fig. 9.

Bei den nach der Methode a) hergestellten Präparaten scheint zugleich mit dem Dunkelwiderstand auch die Empfindlichkeit mit der Zeit abzunehmen. Diese Abnahme ist aber, wie gesagt, nur eine scheinbare, da der Lichteffekt durch andere Vorgänge verdeckt ist. Einen Zusammenhang zwischen Lichtempfindlichkeit und Widerstand an jenen Zellen zu finden, wird schwer gelingen, solange die Luftfeuchtigkeit Zutritt hat. Besser eignen sich dazu die rasch gekühlten. Ich habe an einem längere Zeit auf 196° erhitzten und rasch gekühlten Präparat beobachtet, daß die Empfindlichkeit zugleich mit dem Widerstand beständig zunahm (vgl. Tabelle X und Fig. 10, wo I und II die Kurven für die Zunahme des Widerstandes bezw. der Lichtempfindlichkeit bedeuten). Bei den Präparaten, welche viele Stunden über 200° erhitzt und rasch gekühlt werden, ist dies ja regelmäßig der Fall, wie Marc nachgewiesen hat. Dieselben zeigen gleich nach der Kühlung äußerst geringen Widerstand und geringe Lichtempfindlichkeit; beide wachsen mit der Zeit erst rasch, dann langsam an; später treten wohl Unregelmäßigkeiten auf. Bei den Präparaten, die bei Temperaturen unter 200° umgewandelt werden und bei Abkühlung eine sofortige Widerstandszunahme erfahren, habe ich diesen Zusammenhang zwischen Widerstand und Lichtempfindlichkeit nicht mit dieser Regelmäßigkeit beobachten können. Im übrigen ist es eine Tatsache, die wohl schon vielen aufgefallen sein wird, daß gerade die empfindlichsten Präparate recht hohen Widerstand besitzen, während solche mit recht niedrigem Widerstand nur geringe Empfindlichkeit aufweisen.

Tabelle X.

Zeit	1/4 St. nach Abkühlg.	1 St. nach Abkühlg.	nach 1 Tag	nach 3 Tgn.	nach 7 Tgn.	nach 20 Tgn.
I. Widerstand (Tausend. fehlen)	500	860	1100	1200	1300	1520
II. Empfindlichkeit in %	250	314	345	377	400	415

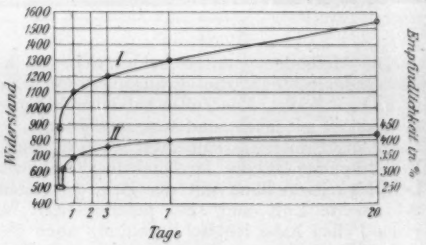


Fig. 10.

e)

Eine Zelle, bei der das Selen zwischen zwei Kohlenfäden eingeschmolzen war, wurde auf 240° erhitzt, so daß das Selen zum Schmelzen kam. Sein Widerstand betrug trotz der geringen Entfernung der Elektroden $4 \cdot 10^8$ Ohm, ist also nur mit einem Galvanometer höchster Empfindlichkeit meßbar. Die Temperatur wurde dann auf 200° erniedrigt und $3\frac{1}{2}$ Stunden konstant gehalten. Nach $\frac{1}{2}$ Stunde trat eine kleine Verbesserung der Leitfähigkeit ein, nach ca. $\frac{3}{4}$ Stunden begann die Leitfähigkeit rapid an-

zusteigen und erreichte innerhalb $^1/_2$ Stunde einen verhältnismäßig hohen Wert. Später änderte sich der Widerstand nur mehr wenig. Vgl. hierzu Tabelle XI und Fig. 11.

Tabelle XI.

Zeit h	Leitfähigkeit
3^{13}	0
3^{45}	2
3^{53}	3
3^{56}	10
3^{59}	200
4^{03}	425
4^{08}	760
4^{13}	1080
4^{24}	1400
5^{0}	1700
5^{15}	1800
5^{30}	1880
6^{0}	2000
6^{45}	2100

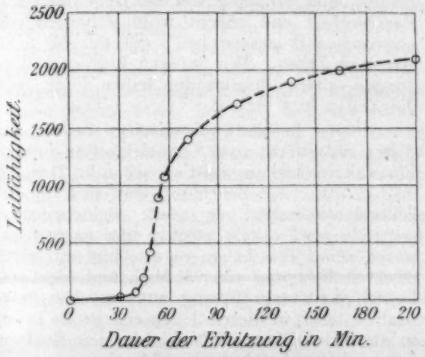


Fig. 11.

Einen solchen Versuch habe ich auch im Tageslicht vorgenommen, um den Vorgang der Kristallisation zugleich mit der Leitfähigkeitszunahme beobachten zu können. Es zeigte sich, daß die Kristallisation von einigen Punkten ausging und rasch um sich griff; sie war von einer starken Leitfähigkeitszunahme begleitet und vollzog sich innerhalb kurzer Zeit.

Die Abkühlungszeit betrug bei diesen Zellen mindestens 1 Stunde. Alle Präparate zeigten dasselbe Verhalten wie die nach der Methode a) hergestellten (hygroskopisches Selen).

f)

Die Methode f) unterscheidet sich von e) nur durch die äußerst rasche Kühlung. Die Zellen verhielten sich normal wie bei Methode b) und d), nur war ihre Lichtempfindlichkeit meist gering (trockenes Selen).

Auf Grund vorstehender Versuchsergebnisse komme ich zu dem Resultat: Das Verhalten der Präparate, welche im Luftbad hergestellt werden, ist besonders von der Höhe der Erhitzungstemperatur und der Dauer der Abkühlung abhängig. Rasche Kühlung liefert stets normale Präparate, die ziemlich unempfindlich gegen Feuchtigkeit sind; bei äußerst langsamer Kühlung dagegen entsteht hygroskopisches Selen, an dem man anomale Vorgänge beobachtet. Es empfiehlt sich daher, Selenpräparate in evakuierte Röhren einzuschließen.

Bei meinen früheren Versuchen bin ich zu dem Resultat gelangt, daß die Empfindlichkeit bei langsamer Kühlung nur bis zu einer Erhitzungstemperatur von 195° zunimmt, um nachher rasch abzunehmen, bei rascher Kühlung aber erfährt die Empfindlichkeit über 200° immer noch eine mäßige Steigerung. Dieses Resultat erklärt sich nun sehr einfach. Ich möchte aber vorher noch eine Beobachtung mitteilen.

Ein Selenpräparat wurde ungefähr zehnmal je eine Stunde auf 195° erhitzt und abwechslungsweise bald rasch, bald langsam gekühlt. Der Photoeffekt vergrößerte sich anfangs etwas, um dann vollständig konstant zu bleiben. Die Art der Kühlung war auf das einmal kristallisierte Präparat ohne Einfluß. Es hat sich also auch hier das im I. Teil angeführte Gesetz von Siemens und Schrott, daß sich eine Modifikation durch nochmaliges Erhitzen nicht mehr leicht umwandeln läßt, vollauf bestätigt.

Ich komme nun auf die obengenannte Arbeit über die Empfindlichkeit zurück. Damals habe ich ein Präparat erst auf 170° erhitzt; da die Abkühlung nicht langsam genug, auch die Temperatur niedrig war, so verhielt sich das Element normal. Die folgenden Erhitzungen auf 180, 190 und 195° vermochten die einmal gebildete Modifikation noch nicht umzuwandeln. Erst bei Erhitzung auf 200° und darüber, verbunden mit langsamer Abkühlung, bildete sich allmählich hygroskopisches Selen, in dem die Lichtempfindlichkeit durch andere Vorgänge verdeckt wird, also eine scheinbare Abnahme erleidet. Bei den rasch gekühlten Präparaten nahm die Lichtempfindlichkeit bis zum Schmelzpunkt immer noch zu; daß dieselbe aber bei Erhitzungstemperaturen über 200° mit der Zeit rascher sinkt als bei einer Erhitzungstemperatur von 195°, kann ich nach meinen jetzigen Versuchen nicht als allgemeingültig erachten. Praktisch empfiehlt sich sogar eine Erhitzung auf möglichst hohe Temperatur, da diese Präparate einen verhältnismäßig kleinen Widerstand und doch ziemlich große Empfindlichkeit besitzen. Um endgültig die Frage zu entscheiden, ob rasche oder langsame Küh-

lung brauchbarere Zellen liefert, ist Herstellung in evakuierten Röhren nötig.

Vergleicht man meine Beobachtungen mit den Resultaten anderer Physiker, so findet man recht gute Übereinstimmung. Alle Forscher, wie Kalischer, Schrott und Pochettino, welche Leitfähigkeitsabnahme bei Belichtung beobachtet, haben Erhitzung auf möglichst hohe Temperatur und recht langsame Abkühlung angewendet. Siemens und Hesehus, welche wiederholt die sogen. Ermüdung erwähnen, scheinen nicht allzu rasch gekühlt zu haben, während die übrigen Forscher scheinbar auf die Abkühlung kein Gewicht legten.

Damit ist auch entschieden nachgewiesen, daß die metallische Leitfähigkeit und sogen. negative Lichtempfindlichkeit in keinem Zusammenhang stehen; übrigens zeigen auch diese hygroskopischen Präparate, wie aus Versuchen von Schrott und mir hervorgeht, durchweg negativen Temperaturkoeffizienten des Widerstandes.

Zum Schluß möchte ich noch kurz über die Abhängigkeit der Lichtempfindlichkeit von der Temperatur einiges erwähnen. Nachdem Pochettino[1]) festgestellt, daß der Photoeffekt auch bei der Temperatur der flüssigen Luft noch existiert und bei Abkühlung von der Zimmertemperatur auf -185^0 nur um 25 Proz. abnimmt, hat Carpini[2]) die Empfindlichkeit bei 0 und 100^0 gemessen und die Werte 0,3 bezw. 0,07 gefunden, woraus sich eine durchschnittliche Abnahme der Lichtempfindung um 0,002 pro Grad Erwärmung ergäbe. Schrott hat beobachtet, daß die Lichtempfindlichkeit mit der Temperaturerhöhung abnimmt und in der Nähe des Schmelzpunktes verschwindet.

Das Selenpräparat, welches mindestens zehnmal je 1 Stunde auf 195^0 erwärmt worden war, hatte sich innerhalb 4 Wochen gar nicht verändert. Mit Temperaturerhöhung nahm die Lichtempfindlichkeit erst rasch, dann langsam ab, um in der Gegend von 200^0 vollständig zu verschwinden. Tabelle XII und Fig. 12 enthalten die zugehörigen Versuchsresultate; die Empfindlichkeit ist in Proz. angegeben.

1) Pochettino, Rend. Acc. dei Linc. 11, 286, 1902.
2) Carpini, diese Zeitschr. 7, 306, 1906.

Tabelle XII.

Temperatur	15^0	63^0	100^0	130^0	140^0
Empfindlichkeit in %	115	17	8	2	1,2

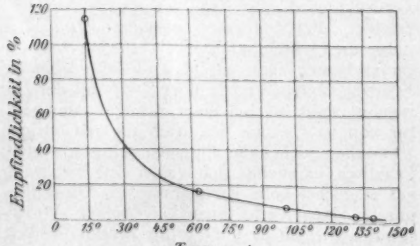


Fig. 12.

III. Photoelektromotorische Kraft.

Bekanntlich ist das Licht imstande, im Selen eine E.M.K. zu erregen. Obwohl über diese photoelektromotorische Kraft des Selens verhältnismäßig wenige Arbeiten existieren, sind doch in mehreren Punkten direkt widersprechende Resultate zu verzeichnen. Es hat dies seinen Grund in der verschiedenartigen Konstruktion der Präparate. Der von Bidwell[1]) aufgestellte Satz: „die photoelektrischen Ströme sind abhängig von der Gegenwart von Feuchtigkeit und rühren wohl sicherlich von chemischen Prozessen her", gilt nur für eine Art von Zellen. Wir müssen hier zwei Wirkungen streng auseinander halten. Ich teile die Zellen in 3 Arten:

1. Art. In den galvanischen Zellen, bei denen eine bezw. zwei Selenelektroden in eine Flüssigkeit tauchen, existiert schon im Dunkeln eine E.M.K. Bei Belichtung wird nun die belichtete Selenelektrode stark elektronegativ, mag sie im Dunkeln positiv oder negativ gewesen sein. Wir haben es also hier mit einer direkten Erregung einer E.M.K. und nicht mit Leitfähigkeitsvergrößerung zu tun. Die Polarisation spielt in diesen Zellen eine große Rolle, so daß der Photoeffekt wie in den feuchten Selenzellen scheinbar eine Abnahme mit der Belichtungsdauer erfährt. Der Photostrom fließt stets in der Richtung der Lichtstrahlen, d. h. von der beschatteten durch die Flüssigkeit zur belichteten Selenelektrode. Polarisation kann den Photoeffekt ganz bedeutend fördern, aber auch vollständig vernichten, sie hat aber nur auf die Stärke, nicht auf die Richtung des Stromes einen Einfluß. Diese Gesetze habe ich in meinen früheren Arbeiten genau festgestellt[2]). Reinganum[3]) hat in den Stromkreis noch eine E.M.K. eingeschaltet und gefunden, daß die Empfindlichkeit in hohem Maße von der angelegten Spannung abhängt. Durch seine Beobachtungen wird das von mir aufgestellte Gesetz über die Richtung des Photostromes bestätigt. In einem Falle beobachtete Reinganum eine Ausnahme, die aber auf Erhöhung

1) Bidwell, Phil. Mag. 40, 233, 1895.
2) Ries, Dissertation S. 30—31 und diese Zeitschr. 9, 164, 1908.
3) Reinganum, diese Zeitschr. 7, 786, 1906 und 8, 293, 1907.

der Leitfähigkeit unter dem Einfluß des Lichtes zurückzuführen ist.

2. Art. Ich komme nun zu den Selenzellen, bei denen das Selen zwischen durchsichtigen Metallfolien eingeschmolzen ist. Einschmelzen zwischen Metalldrähten empfiehlt sich nicht. Ich möchte hier hauptsächlich auf die Arbeiten von Uljanin[1]), Kalischer[2]) und meine Dissertation (S. 28—29) verweisen. Diese Zellen besitzen im Dunkeln nicht die geringste E.M.K. und sind kaum polarisierbar. Der Photoeffekt entsteht sofort beim Auffallen der Lichtstrahlen, ist stundenlang konstant und verschwindet beim Abdunkeln sofort vollständig. Wir haben also hier eine direkte Erregung einer E.M.K. unter dem Einfluß des Lichtes.

Uljanin hat an seinen Platin-Selen-Platinzellen festgestellt, daß der photoelektrische Strom stets in der Richtung der Lichtstrahlen fließt, immer ist die belichtete Elektrode elektropositiv. Die Richtung des Photostromes ist also genau dieselbe wie in den galvanischen Selenzellen, von der belichteten Selenseite nach der unbelichteten. An einigen Messing-Selen-Platinzellen, bei denen die eine Elektrode aus einem Messingblech bestand, floß der Photostrom stets in derselben Richtung, welche Seite auch belichtet wurde. Diese Beobachtung habe auch ich bei meiner früheren Arbeit an Zellen, deren Elektroden aus verschiedenem Blattmetall bestanden, gemacht. Daraus müßte man schließen, daß die Natur der Elektroden von Einfluß auf die Richtung des Photoeffektes ist. Da dieses Gesetz für die galvanischen Selenzellen nicht gilt, unterzog ich eine der zwei vor sieben Jahren hergestellten Zellen einer gründlichen Untersuchung. Ich erhitzte sie nochmals auf 195° und kühlte sie langsam ab. Bei Belichtung zeigte sich die belichtete Elektrode positiv, bei Belichtung der andern Seite erhielt ich einen weit schwächeren Strom in derselben Richtung. Durch genaue Untersuchung habe ich festgestellt, daß die Rückseite überhaupt unempfindlich für das Licht war; der bei Belichtung der Rückseite auftretende Photostrom rührte von den seitlich durch das Element gedrungenen Lichtstrahlen her, welche auf die Vorderseite einwirkten; daher war auch in diesem Fall die Wirkung entsprechend geringer. Man darf wohl mit Recht annehmen, daß dasselbe auch für die Messing-Selen-Platinzellen von Uljanin gilt, da ja deren Rückseite aus undurchsichtigem Messingblech bestand, also eine Belichtung des Kontaktes kaum möglich war. Daraus ergibt sich, daß die Natur der Elektroden auf die Richtung des Photostromes nicht von Einfluß ist und derselbe wie in den galvanischen Zellen von der belichteten nach der unbelichteten Selenseite fließt. Auf einige scheinbare Ausnahmefälle, die durch Feuchtigkeit hervorgerufen wurden, komme ich im nächsten Abschnitt zurück.

3. Art. Eine weitere Art von Zellen hat Righi[1]) konstruiert. Er stellte dünne Selenscheibchen her und preßte dieselben zwischen zwei Drahtnetzen als Elektroden fest. Er erhielt bereits im Dunkeln eine E.M.K.; wenn er aber belichtete, so beobachtete er eine Zunahme der E.M.K., welche nach Abdunkelung ihren ursprünglichen Wert annahm. Die Lichtwirkung war meist nur gering und wurde mit dem Elektrometer gemessen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß hier lediglich eine Leitfähigkeitsvergrößerung unter dem Einfluß des Lichtes vorliegt und keine Erregung einer E.M.K. All diese Selenpräparate wurden ja langsam gekühlt, da man annahm, daß durch eine Erhitzung auf 195—200° und langsame Abkühlung die photoelektromotorische Kraft bedingt sei. Diese Präparate bestanden also aus feuchtem Selen, das die Rolle eines Elektrolyten spielte. Auch Kalischer hat an Kupfer-Zink und Kupfer-Messing-Zellen (Selen war zwischen Drähten eingeschmolzen) beobachtet, daß die Richtung des Photostromes dieselbe wie in den elektrischen Elementen war; daß diese Zellen feucht waren und die Wirkung auf einer Leitfähigkeitsvergrößerung beruhte, ergibt sich daraus, daß Widerstand und Empfindlichkeit seiner Zellen mit der Zeit bedeutend abnahm. Diese allmähliche Leitfähigkeitsvergrößerung ist eben charakteristisch für feuchtes Selen.

Meine Versuche über die festen, photoelektromotorisch wirksamen Selenzellen, die sämtlich ½ Stunde auf 195° erhitzt und langsam gekühlt wurden, haben zu folgenden Resultaten geführt.

Wurde das Selen zwischen durchsichtigen Metallfolien eingeschmolzen, so daß es fest an den Elektroden haftete, so zeigten die Präparate gleich nach der Herstellung keine E.M.K. im Dunkeln und waren kaum polarisierbar. Bei Belichtung entstand ein Strom, der vollständig konstant war und bei Abdunkelung sofort verschwand. Wir haben also hier eine direkte Erregung einer E.M.K. Der Photoeffekt ist unabhängig von der Natur der Elektroden (2. Art).

Wurden Selenscheibchen zwischen Metallfolien gepreßt, so erhielt ich schon im Dunkeln einen Strom, der bei Belichtung zunahm. Die Richtung der Ströme hing von der Natur der Elektroden ab und war die gleiche, wie in den

1) Uljanin, Wied. Ann. **34**, 241 und **35**, 836, 1888.
2) Kalischer, Wied. Ann. **31**, 101, 1887; **35**, 397, 1888, und **37**, 528, 1889.

1) Righi, Ann. d. Phys. Beibl. **12**, 683, 1888 und Wied. Ann. **36**, 464, 1889.

elektrischen Elementen. Wir haben es also hier mit einer Leitfähigkeitsvergrößerung zu tun. Bei einigen Zellen konnte ich daneben noch eine schwache Erregung einer E.M.K. beobachten, so daß eine Erscheinung über die andere sich lagerte (3. Art).

Präparate der 2. Art können infolge ihres festen Kontaktes nur äußerst langsam Feuchtigkeit aufnehmen; dann verlieren sie ihren hohen Widerstand und es treten anomale Vorgänge auf. Die elektromotorische Erregbarkeit ist immer mit hohem Widerstand verbunden. Die Zellen der 3. Art aber nehmen sofort mit der Abkühlung Feuchtigkeit auf.

Präparate, die infolge Feuchtigkeitsaufnahme bereits polarisierbar geworden, verhalten sich bei geringer Polarisation normal. War die Polarisation aber kräftig, so entstehen bei Belichtung wie in den Präparaten a) und in den galvanischen Selenzellen wieder entgegengerichtete Ströme, welche den Photoeffekt verdecken und ein rasches Sinken des ursprünglichen Polarisationsstromes zur Folge haben. Daraus erklären sich auch einige Beobachtungen von Uljanin und Marc.[1])

Werden feucht gewordene Präparate der 2. Art wieder erhitzt, so geben sie während der Erwärmung ihre Feuchtigkeit ab und zeigen sich nach der Abkühlung wieder photoelektromotorisch erregbar.

Zum Schluß möchte ich noch auf eine Wärmewirkung hinweisen. Ein Präparat, bei dem das Selen zwischen zwei Kupferdrähten eingeschmolzen war, wurde stundenlang auf 210° erhitzt und rasch gekühlt. Mehrere Tage nach der Kühlung besaß es einen Wendepunkt bei 190°, oberhalb dieser Temperatur hatte es einen positiven Temperaturkoeffizienten des Widerstandes. Dieses Präparat zeigte im Dunkeln keine Spur von einem Strom. Als ich es erwärmte, entstand ein Thermostrom, der bei 100° sein Maximum erreichte, dann langsam abnahm und bei 190° (Wendepunkt) auf Null zurückging, um sich dann umzukehren. Bei recht langsamer Abkühlung ging er allmählich auf Null zurück, wurde wieder positiv und verschwand schließlich bei Zimmertemperatur.

Im übrigen erlaube ich mir auf meine demnächst erscheinende Schrift zu verweisen: „Die elektrischen Eigenschaften des Selens und seine Bedeutung für die Elektrotechnik".

Uffenheim in Bayern 19. Juni 1908.

1) Marc, Zeitschr. für anorg. Chemie **37**, 459, 1903.

(Eingegangen 19. Juni 1908.)

BESPRECHUNGEN.

G. Tammann, Über die Beziehungen zwischen den inneren Kräften und Eigenschaften der Lösungen. Ein Beitrag zur Theorie homogener Systeme. 8. VII u. 184 S. mit 28 Abbildungen. Hamburg, Leop. Voß. 1907. M. 9,—

Die wissenschaftlichen Arbeiten G. Tammanns haben sich zu einem sehr großen Teil dem Studium der verschiedensten Stoffe unter hohen Drucken zugewandt und durch den damit im hohen Grade erweiterten Überblick über das Zustandsfeld in wertvollster Weise zur Vermehrung unserer Kenntnisse beigetragen. Besonders hinweisen möchte ich hier auf die geklärte Auffassung des amorphen festen Zustandes und auf die überaus fruchtbaren Anwendungen in der Geophysik, speziell in der Vulkantheorie. Tammann weist nun aus einer großen Reihe von Eigenschaften nach, daß Lösungen sich verhalten wie das Lösungsmittel, wenn dieses unter einem erhöhten Drucke steht; je konzentrierter die Lösung, desto höher der Druck, unter dem das reine Lösungsmittel sich ebenso verhält wie die betrachtete Lösung. Eine große Reihe von Eigenschaften, über welche die gebräuchlichen und für viele Dinge so fruchtbaren Lösungstheorien keinerlei Aussagen machen, finden hier ihre einheitliche Darstellung, so daß dies Grundgesetz für das Verhalten von Lösungen als wertvoller Begleiter der Theorien des osmotischen Druckes und der elektrolytischen Dissoziation angesprochen und verwertet werden muß. Auf ein längeres Eingehen müssen wir leider aus Mangel an Raum hier verzichten, doch sei das Studium der Tammannschen Monographie angelegentlich empfohlen. E. Bose.

James Chappuis et Alphonse Berget, Leçons de Physique Générale. Cours professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures et complété suivant le programme du Certificat de Physique Générale. Deuxième édition entièrement refondue. Tome I. Instruments de Mesure. — Pesanteur. — Élasticité. — Statique des Liquides et des Gaz. — Chaleur. — Lex.-8. IX u. 669 S. Paris, Gauthier-Villars. 1907. — 14 Fr., in weich. Lederbd. 17 Fr.

Die Verfasser wollen dem jungen Studierenden, der von der Schule kommend die Hochschule bezieht, ein Buch an die Hand geben, welches ihm mehr bieten soll, als ihm der Schulunterricht übermitteln konnte, und ihm den Übergang zum Studium schwierigerer Fach-

und Spezialwerke erleichtern soll. Die Verfasser haben versucht, von höherer Mathematik möglichst wenig Gebrauch zu machen. Der Studierende soll aus dem Experiment heraus die Gesetze kennen lernen. Großen Nachdruck legen die Verfasser auf die Dimensionslehre. Auch die Methoden zur Messung von Längen, Massen, Kräften nehmen einen breiten Raum ein. Der Band ist mit 303 guten Figuren ausgestattet. Das Werk verdient auch im deutschen Sprachgebiete Interesse. Max Iklé.

R. Börnstein, Die Lehre von der Wärme gemeinverständlich dargestellt. Mit 33 Abbildungen im Text. („Aus Natur und Geisteswelt", 172. Bändchen.) 16. 126 S. Leipzig, B. G. Teubner. 1907. M. 1,—, geb. M. 1,25.

Im Winter 1905—1906 hat der Verf. in den Berliner volkstümlichen Hochschulkursen sechs Experimentalvorträge über Wärmelehre gehalten, die nunmehr, nachträglich niedergeschrieben, in Buchform vorliegen. Diese Entstehungsgeschichte des Buches zeigt, daß es nicht sowohl für den Physiker von Fach bestimmt ist, als vielmehr für den gebildeten Laien. Die Zuhörerschaft der volkstümlichen Hochschulkurse pflegt sich größtenteils aus Handwerkern, vorzugsweise Mechanikern, zusammenzusetzen. Der Umstand, daß an dem Kursus über Wärmelehre eine Anzahl von Volksschullehrern teilgenommen haben, bot dem Verf. Veranlassung, auch, mehr als es vielleicht sonst geschehen sein würde, Unterrichtsversuche zu berücksichtigen. Dadurch wird das Buch auch in Lehrerkreisen Anklang finden. Klare Darstellung und gute Figuren gestalten die Lektüre angenehm und erleichtern das Verständnis. Eine Anzahl Tabellen, unter Berücksichtigung der neuesten Forschungsergebnisse zusammengestellt, erhöht den Wert des Buches.

Max Iklé.

H. Thurn, Die Funkentelegraphie. (Aus „Natur und Geisteswelt", 167. Bändchen.) IV u. 111 S. 16. Mit 53 Illustrationen. Leipzig, B. G. Teubner. 1907. M. 1,—, geb. M. 1,25.

Diese kleine Übersicht darf für sich den Vorzug in Anspruch nehmen, trotz ihres geringen Umfanges für den Laien, dem nicht jegliche physikalische Grundlage fremd ist, verständlich zu sein. Vorwiegend wird das deutsche System behandelt. Diese scheinbare Einseitigkeit begründet der Verfasser mit der außerordentlichen Verbreitung, welche das System „Telefunken" — diese sprachliche Mißbildung ist leider ebenso unausrottbar wie das nicht viel erträglichere Wort „Funkentelegraphie" — bereits erlangt hat. Der Verfasser legt den Hauptwert nicht sowohl auf die technische Darstellung, als vielmehr auf die Vorführung der wirtschaftlichen Entwicklung der Wellentelegraphie und auf die Darstellung ihres großen Verwendungsgebietes. „In einfacher, allgemein verständlicher Darstellung wird zunächst eine gedrängte und doch erschöpfende Übersicht über die elektrischen Vorgänge und die funkentelegraphischen Hilfsapparate gegeben, sowie die für die verschiedenen Anwendungsgebiete erforderlichen einzelnen Konstruktionstypen vorgeführt. Beschreibungen von Anlagen, die nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik in jüngster Zeit ausgeführt worden sind, sollen das Interesse für diesen neuesten Zweig der Elektrotechnik heben und das vielfach noch bestehende Mißtrauen betreffs der Sicherheit des Betriebes und der Wohlfeilheit dieses technisch verhältnismäßig einfachen Verkehrsmittels beseitigen. Historische Erörterungen sind auf das notwendigste beschränkt (leider!); auf die mathematische Ausdrucksweise konnte bei der Form der Darstellung ganz verzichtet werden". — Nachdem zum Schlusse noch die Entwicklung der Radiotelephonie gestreift worden ist, folgt ein Anhang, enthaltend: „Vergleich der Anlage- und Unterhaltungskosten einer Kabelverbindung und einer funkentelegraphischen Verbindung; Zusammenstellung der deutschen Land-, Küsten- und Schiffsstationen; Zusammenstellung der bis 1. April 1907 gelieferten Telefunken-Stationen; Internationaler Radiotelegraphenvertrag". Max Iklé.

J. Scheiner, Populäre Astrophysik. gr. 8. VI u. 718 S. mit 30 Tafeln und 210 Figuren im Text. Leipzig, B. G. Teubner. 1908. M. 12.—

Die letzten Jahre haben uns eine größere Zahl populärer Werke gebracht, die ohne im eigentlichen Sinn des Wortes populär zu sein, die Grundzüge und Ergebnisse der wissenschaftlichen Spezialforschung dem Fernerstehenden in allgemeinerer Form übermitteln wollen. Hierhin ist das vorliegende Buch zu rechnen. Es setzt bei seinen Lesern nicht gerade größere Kenntnisse, aber doch physikalisches Verständnis voraus. Demgemäß werden im ersten Teil die physikalischen und physiologischen Gesetze, auf denen die Astrophysik aufgebaut und ihre Forschungsmethoden, Spektralanalyse, Photometrie und Photographie zölestischer Objekte abgehandelt. Die zweite Hälfte bringt die Resultate der astrophysikalischen Beobachtungen an Sonne, Planeten, Fixsternen usw. Aus der Fülle des überaus großen Beobachtungsmateriales mußte natürlich eine Auswahl getroffen werden, die indessen so reichhaltig ist, daß sie gute allgemeine Orientierung er-

möglicht. Besonders hervorzuheben sind die in Lichtdruck hergestellten zahlreichen Tafeln, die in ausgezeichneter Reproduktion typische Nebelflecke, Sternhaufen und dergl. darstellen und eine treffliche Erläuterung des Textes bilden. Bei dem großen Interesse, das in gebildeten Laienkreisen der Astronomie entgegengebracht wird, muß das Erscheinen eines solchen Werkes um so erwünschter sein, als in den Lehrbüchern der populären Astronomie die Astrophysik gewöhnlich nicht diejenige Beachtung findet, die ihr gemäß ihrer Bedeutung für die Erkenntnis des Universums gebührt.

E. Przybyllok.

Jak. J. Weyrauch, **Grundriß der Wärmetheorie.** Mit zahlreichen Beispielen und Anwendungen. Nach Vorträgen an der königlichen technischen Hochschule in Stuttgart. Lex. 8°. XV u. 836 S. m. Figuren. Stuttgart, Konrad Wittwer. 1907. Ungebunden M. 28,—, gebunden M. 30,40.

Das aus langjährigen Vorlesungen an der Technischen Hochschule zu Stuttgart hervorgegangene Werk ähnelt in seiner Anlage und seinem Umfange den neueren Auflagen der verbreiteten „Technischen Thermodynamik" von Zeuner, mit dessen eigenartiger Darstellung der physikalischen Grundlagen es sich gelegentlich berührt. In beiden Werken ist der erste Band den zwei Hauptsätzen der Wärmelehre und der Theorie der Gase einschließlich der Thermochemie mit Anwendungen auf Luft- und Verbrennungsmaschinen, der zweite den gesättigten und überhitzten Dämpfen sowie der Theorie der Dampfmaschinen gewidmet. Während nun Zeuner neben dem Wasserdampf auch eine Reihe anderer Körper (z. B. NH_3, CO_2, SO_2) behandelt und ihre Zustandsänderungen in Kaltdampfmaschinen verfolgt, gibt Weyrauch in der letzten Hälfte des zweiten Teiles eine ausführliche, sehr lesenswerte Darstellung der Aerostatik und Aerodynamik, wohl im Anschluß an besondere Vorlesungen über diese Gebiete in Stuttgart. In diesen Kapiteln haben u. a. die neuesten Untersuchungen über Gasströmung, auf welcher Zeuner trotz ihrer Wichtigkeit für Dampfturbinen in der letzten Auflage nur kurz hingewiesen hat, Platz gefunden; ebenso sind die neuesten Experimentalforschungen über Wasserdampf schon vollkommen verarbeitet. Den Schluß bildet bei Weyrauch das thermische Verhalten fester Körper, welches in Zeuners Werk nach der Auflage von 1877 gänzlich gestrichen wurde. Auch im einzelnen weicht die Darstellung Weyrauchs von der Zeunerschen oft erheblich ab, so daß sein Buch als eine durchaus selbständige, überdies von großer Lehr-Erfahrung zeugende Leistung zu bezeichnen ist. Ganz besonders wertvoll sind die in überraschender Fülle eingestreuten und durch kleinen Druck hervorgehobenen Übungsbeispiele zu fast allen theoretisch gewonnenen Resultaten. Sie sind vorwiegend der reichen technischen Versuchsliteratur der letzten Jahre in geschickter Auswahl entnommen und lassen das auch äußerlich gut ausgestattete Weyrauchsche Buch zum Selbststudium in hervorragendem Maße als geeignet erscheinen.

H. Lorenz.

Tagesereignisse.

Für ein zu gründendes Institut für Radiumforschung in Wien, das der Konzentration des Joachimsthaler Rohstoffes an einer Arbeitsstätte dienen soll, wurden 500000 Kronen gestiftet. Das neue Institut soll als selbstständiges Gebäude neben dem physikalischen Universitätsinstitut errichtet werden und unter der Leitung des Professors Franz Exner stehen. Die Studien sollen alle physikalischen und chemischen, jedoch nicht die ärztlichen Eigenschaften des Radiums und der verwandten Stoffe umfassen. Sie werden sich beziehen auf diese Stoffe, ferner auf die Umwandlung chemischer Elemente, die Emanation verschiedenartiger Strahlen, die große Frage der Natur des Lichtes, die allgemeine Verbreitung radioaktiver Vorgänge und den etwaigen Einfluß auf die Atmosphäre und andere einschlägige Fragen. —

Personalien.

(**Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.**)

Habilitiert: An der Universität Berlin Dr. Fritz Weigert und Dr. J. Houben für Chemie.

Berufen: Professor Marius Lacombe bisher am eidgenöss. Polytechnikum in Zürich zum a. o. Professor für darstell. u. analyt. Geometrie an der Universität Lausanne.

Ernannt: Der Privatdozent an der Technischen Hochschule Aachen Dr. Leo Finzi zum a. o. Professor für Elektrotechnik daselbst, Professor Dr. W. J. Pope in Manchester zum Professor für Chemie an der Universität Cambridge in England (als Nachfolger Liveings).

Verliehen: Dem ord. Professor für höhere Mathematik an der Technischen Hochschule Braunschweig Dr. Robert Fricke der Titel Geheimer Hofrat.

Gesuche.

Dr. phil., Physiker,

der sich auch mit physikalischer und Elektro-Chemie beschäftigt, und das Oberlehrerexamen gemacht hat, **sucht** Stellung. Gefällige Angebote unter **„Dr. phil."** an den Verlag dieser Zeitschrift erbeten.

Für die Redaktion verantwortlich Professor Dr. Emil Bose in Oliva bei Danzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.